



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
Departamento de Análisis Geográfico Regional y
Geografía Física

**Series temporales de observaciones NOAA-AVHRR
como base para el estudio de la dinámica regional
y la actualización de cubiertas del terreno
en Castilla y León**

Memoria presentada por Julia Yagüe Ballester
para optar al grado de Doctor en Geografía.
Madrid, 1999.

A mis padres,

hermanas

y hermanos.

Tesis presentada en el Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física por Julia Yagüe Ballester para la obtención del grado de Doctor en Geografía por la Universidad Complutense de Madrid, realizada bajo la dirección de la Dra. Dña. Pilar García Rodríguez.

Vº Bº Directora

Dra. Dña. Pilar García Rodríguez

Madrid, lunes 4 de Octubre de 1999

Esta Tesis se ha financiado con una beca otorgada por el Ministerio de Educación y Cultura, dentro del Programa de Acciones de Formación de Personal Investigador y Ayudas para el Intercambio de Personal Investigador entre Industrias y Centros Públicos de Investigación (modalidad D).

Convocatoria del Programa: 13 de noviembre de 1992 (BOE 20-11-92).

Beca otorgada por Resolución de 31 de enero de 1995, de la Dirección General de Investigación Científica y Técnica. Renovada los años 1996, 1997 y 1998.

El acuerdo de intercambio se suscribió entre el Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física de la Universidad Complutense de Madrid y la empresa Metrosán, S.L., del Grupo Infocarto, S.A., en Octubre de 1994.

AGRADECIMIENTOS

Estoy en deuda con muchos de vosotros. ¡Con tantos!... Este trabajo se ha hecho realidad gracias a los que han sido mis maestros geógrafos en las escuelas de las tres Universidades que me han formado: Complutense de Madrid, Zaragoza y Nueva Gales del Sur en Sydney, Australia. De todos y cada uno llevo vuestra impronta.

Al depositar esta memoria en el Dpto. de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física de la Universidad Complutense manifiesto mi especial reconocimiento por los Profesores Juan José Sanz Donaire, Rafael Puyol Antolín, José Estébanez Álvarez (Dios y Él saben ahora lo mucho que influyó en mi periplo bajo la Constelación de los Mares del Sur: ¡tanto puede un buen maestro!), José Antonio Sotelo Navalpotro, José María García Alvarado y Angel Navarro Madrid. Es una gratísima obligación nombrar a Mercedes García Pascual, porque siempre está, y por tanto ahora no debe faltar.

Debo palabras muy singulares a la Profesora María Pilar García Rodríguez por la dirección y apoyo dispensada para que este trabajo llegara a término; agradezco su paciencia, espera y comprensión cuando deberes empresariales se han apropiado del tiempo y sosiego deseables en todo estudio de esta naturaleza.

Los que habéis sido mis compañeros en el Grupo Infocarto, S.A. sois parte constituyente de este estudio. ¡Cuántas horas de proceso de imagen... e informes, viajes, propuestas y presupuestos, demostraciones, contratos, justificaciones y evaluaciones! Muchas gracias a su Director Gerente –y mi querido hermano– Antonio, por proporcionarme los medios para llegar más lejos que él mismo (*per aspera ad astra*). Todos habéis sido maestros: Javier, Milagros, Alvaro, Nines, Mario, Mabela, Luis, Pilar, Pepe, Pepa... Y todos hemos aprendido. Si no fuera por vosotros, hoy sabría mucho menos de observación remota.

El trabajo en proyectos de Investigación y Desarrollo de teledetección financiados por la Comisión Europea en los que Infocarto, S.A. ha sido o es miembro del consorcio ha supuesto una experiencia profesional privilegiada. Mi reconocido agradecimiento se dirige a los equipos del CEO en el Centro Común de Investigación de la UE en Ispra, Dptos. de Geografía de las Universidades de Alcalá de Henares, Estocolmo, Leyden y Londres, Cemagref-Engref de Tolouse, Escuela de Minas de París, los Centros Nacionales de Teledetección de Alemania, Noruega y Túnez, el Alto Comisionado de Naciones Unidas para los Refugiados ... y un largo etcétera que tenemos muy presente.

Como en todo trabajo dilatado, hay una miríada de contribuciones acertadas, pacientes, calladas, ¡salvadoras en tantos casos!, que me han proporcionado amigos y familia: una crítica acertada, una cita bibliográfica, un antivirus informático ... espero que mi amistad sirva como pago agradecido. Con vuestro consentimiento, hago público nuestro trabajo.

INDICE

CAPÍTULO 1 Introducción y objetivos

1100.	Encuadre del estudio	1
1200.	Conceptos preliminares de teledetección	2
1300.	Series multitemporales de imágenes NOAA-AVHRR.	
	Serie NOAA-AVHRR87m.....	4
1400.	Series multitemporales de índices de vegetación NDVI.....	7
	Serie NDVI87m	
1500.	Formulación del postulado de tesis.....	9
1600.	Objetivos del plan de trabajo.....	10
1700.	Estructura del trabajo	11

CAPÍTULO 2 Análisis territorial y aplicaciones de la teledetección

2100.	Génesis y configuración de las unidades de relieve de Castilla y León.....	15
2110.	Introducción.....	15
2120.	Unidades de relieve del borde	20
2121.	Superficies de aplanamiento occidental.....	20
2122.	Montañas Galaico Leonesas	25
2123.	Montañas Cantabras y Burgalesas	26
2123 a)	Sierras Occidentales del Macizo Cantábrico.....	27
2123 b)	Sierras Centrales y Meridionales	27
2123 c)	Picos de Europa	28
2123 d)	Montañas de Burgos.....	28
2124.	Sistema Ibérico Soriano	30
2124 a)	Sierras noroccidentales de la Cordillera Ibérica.....	30
2124 b)	Sector Ibérico central de enlace	31
2125.	Sistema Central	31
2125 a)	Sector Oriental: Somosierra-Ayllón.....	34
2125 b)	Sector Central: Guadarrama y Gredos	34
2125 c)	Sector Occidental: Gata y Peña de Francia	36
2130.	Unidades de relieve de la cuenca central de Castilla y León	38
2131.	Región Noroccidental	42
2132.	Región Oriental.....	44
2133.	Borde Meridional.....	45
2133 a)	Páramo de Ávila	45
2133 b)	Borde Segoviano	46
2134.	Sector Central	47
2134 a)	La campiña arcillosa de Tierra de Campos.	47
2134 b)	Los páramos calcáreos de Torozos, Cerrato, Corcos y Cuellar.	49
2134 c)	Las tierras bajas detríticas de Medina, Pinares y Arévalo.....	50
2135.	Cuenca de Almazán	51
2140.	Aplicaciones de la Teledetección en estudios del relieve.	52
2200.	Análisis de recursos climáticos	54
2210.	Introducción: Elementos de control climático.....	54
2220.	Análisis de las precipitaciones	59

2221. Estacionalidad de las precipitaciones	59
2221 a) Régimen de precipitaciones invernales	60
2221 b) Régimen de precipitaciones estivales.....	63
2221 c) La sequía estival	64
2221 d) Régimen de precipitaciones de primavera	66
2221 e) Régimen de precipitaciones de otoño.....	66
2230. Análisis de las temperaturas	67
2231. Estacionalidad de las temperaturas	67
2231 a) Régimen de temperaturas invernales.....	67
2231 b) Régimen de temperaturas estivales	72
2231 c) Régimen de temperaturas de primavera	75
2231 d) Régimen de temperaturas de otoño	76
2240. Teledetección y clima.....	76
2300. Análisis de recursos Edáficos.....	79
2310. Introducción.....	79
2320. Edafología de los relieves de borde.....	80
2330. Edafología de los relieves de la cuenca central	82
2340. Teledetección y edafología.....	84
2400. Análisis de recursos hídricos.....	85
2410. Introducción.....	85
2420. Cuenca del Duero	85
2430. Cuencas hídricas periféricas	93
2440. Recursos hídricos subterráneos	95
2450. Problemática actual del uso de recursos hídricos	95
2460. La teledetección como herramienta para la gestión de recursos de cuenca. .	97
2500. Paisaje Vegetal de Castilla Y León	103
2510. Introducción.....	103
2520. Geobotánica y paisaje de las campiñas	104
2530. Geobotánica y paisaje de los páramos.....	107
2540. Geobotánica y paisaje de las penillanuras del oeste.....	109
2550. Geobotánica y paisaje de las montañas	113
2560. Problemática de gestión de la cubierta vegetal.	
Contribución de la teledetección.	116
2600. Comarcas agrarias	123

CAPÍTULO 3 Principios de teledetección y análisis de imagen aplicados

3100. Introducción.....	130
3200. Teledetección.....	130
3210. El espectro electromagnético.....	132
3220. Detección remota de la biomasa: Respuesta espectral de la vegetación y factores determinantes.....	135
3221. Respuesta espectral de la vegetación en el rango visible (0,5µm-0,75µm): los pigmentos foliares.	137
3222. Respuesta espectral de la vegetación en el rango del infrarrojo cercano (0,75µm-1,35µm): espacios aéreos foliares.	139

3223. Respuesta espectral de la vegetación en el rango del infrarrojo medio (1,35µm-2,5µm): efecto del agua en las hojas.	140
3300. Índices de vegetación. Concepto, tipos y apología del índice de vegetación normalizado (NDVI)	141
3310. Composición del Valor Máximo (MVC) del NDVI.	147
3400. Análisis de Componentes Principales (ACP)	151
3500. Análisis de Fourier de la señal espectral	153
3510. Introducción.....	153
3520. Funciones.....	154
3530. Series de Fourier.....	156
3540. Transformada integral de Fourier.....	157
3550. Transformada discreta de Fourier.....	158
3600. Clasificación de imágenes digitales	160
3700. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	166

CAPÍTULO 4 Fuentes y proceso de tratamiento

4100. Introducción.....	171
4200. Descripción de las imágenes NOAA-AVHRR.	171
4210. Marco institucional de la misión NOAA de observación de la tierra.....	171
4220. Características generales de los satélites NOAA.....	174
4221. Características orbitales.....	174
4222. Características de los sensores transportados por las naves NOAA.....	175
4222 a) Sensor AVHRR.....	175
4222 b) Sensor TOVS	178
4223. Formato de las imágenes NOAA-AVHRR.....	178
4223 a) Formato NOAA-HRPT	178
4223 b) Formato NOAA 1B.....	180
4224. Imágenes NOAA-AVHRR utilizadas en el estudio	182
4224 a) Serie de imágenes NOAA procedentes del Centro Alemán de Observaciones Espaciales (DLR-DFD).....	185
4224 b) Serie de imágenes procedentes de Infocarto, S.A.	186
4224 c) Especificaciones técnicas de la antena de recepción NOAA-AVHRR.	186
4300. Proceso de imágenes NOAA-AVHRR.....	190
4310. Programación de capturas de imágenes NOAA-AVHRR.....	190
4320. Transformación de la señal HRPT a formato standard NOAA 1B	195
4330. Transformación del formato 1B a formato .img.....	196
4340. Corrección Geométrica de la imagen	199
4340 a) Localización de los puntos de control	201
4340 b) Cálculo del polinomio de transformación.....	204
4340 c) Remuestreo de la nueva imagen.....	207
4350. Cálculo del índice de vegetación y del MVC.....	213
4400. Imágenes Landsat TM. Descripción y proceso	220
4410. Misión Landsat de observación de la tierra.....	222

4420. Pretratamiento imagen Landsat TM 201-31	226
4430. Descripción y pretratamiento de un mosaico de imágenes Landsat TM sobre Castilla y León	232
4500. Modelo Digital de Elevación del Terreno (MDE/MDT).....	236
4510. Tratamiento digital del MDE de Castilla y León	239
4600. Base CORINE de ocupación y usos de suelo (<i>CLC, Corine Land Cover</i>)	242
4610. Tratamiento digital de la base CLC de Castilla y León.....	246
4700. Base Cartográfica Nacional (BCN 200)	253
4800. Datos climáticos	254
4900. Análisis de costes y amortizaciones de las fuentes y sistemas de tratamiento	254

CAPÍTULO 5 Análisis de las fuentes y resultados

5100. Introducción.....	258
5200. Análisis de la imagen NDVI87m	260
5210. Análisis visual	260
5220. Análisis estadístico	264
5230. Análisis espectral.....	278
5231. Análisis espacial de la señal.....	278
5232. Análisis multitemporal de la señal.....	319
5233. Análisis de Fourier sobre el registro temporal de la señal	324
5240. Análisis de componentes principales.....	332
5300. Clasificación de la dinámica temporal	342
5400. Resultados del análisis.....	382

CAPÍTULO 6 Conclusiones

6100. Conclusiones	390
--------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

Relación de obras citadas	400
---------------------------------	-----

ANEXOS

ANEXO 1	Calendario de imágenes NOAA-AVHRR DE la serie NDVI87m.....	1-8
	Correspondencia entre el número de banda de la imagen serie NDVI87m / mes y año.	8
	Catálogo de compuestos mensuales del valor máximo del NDVI de la serie NDVI87m.....	9-23
ANEXO 2	Nomenclatura de la clasificación de usos y ocupación del suelo <i>CORINE Land Cover</i> para España.	1-5
ANEXO 3	Histogramas de las bandas de la imagen NDVI87m.....	1-9

ANEXO 4	Matriz 5.1 Varianza-covarianza de las bandas de la imagen NDVI87m	1
	Matriz 5.2 Correlación entre la varianza-covarianza de las bandas	2
ANEXO 5	Análisis espacial de la respuesta espectral de la imagen NDVI87m.	
	Transectos S-N	1-2
	Transectos SW-NE	3-4
	Transectos W-E	5-6
	Transectos NW-SE	7-8
	Transectos SW-NW	9-10
	Transectos SE-NE	11-12
ANEXO 6	Análisis temporal (mensual) de la respuesta espectral de la Imagen NDVI87m en 60 observatorios termopluviométricos de Castilla y León.	1-29
ANEXO 7	Intensidad y temporalidad de las oscilaciones del NDVI en 60 Observatorios termopluviométricos de Castilla y León, según el análisis de la transformada discreta de Fourier.	1-9
ANEXO 8	Matriz de autovalores del ACP de la imagen NDVI87m.	1

FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1.1	Imagen NOAA-AVHRR (RGB. 4.3.2) sobre la península Ibérica y localización del área de estudio -Castilla y León-.....	14
Figura 2.1	Imagen NOAA-AVHRR sobre Castilla y León. (RGB. 4.3.2)	17
Figura 2.2	Unidades de relieve de Castilla y León.....	18
Figura 2.3	Unidades de relieve de Castilla y León. Superficies de aplanamiento occidental. Imagen NOAA-AVHRR. (RGB. 3.2.1).	19
Figura 2.4	Unidades de relieve de Castilla y León. Montañas Galaico Leonesas y Cantabras. Imagen NOAA-AVHRR. (RGB. 3.2.1).	24
Figura 2.5	Unidades de relieve de Castilla y León. Montañas de Burgos y Sistema Ibérico Soriano. Imagen NOAA-AVHRR. (RGB. 3.2.1).	29
Figura 2.6	Unidades de relieve de Castilla y León. Sistema Central. Imagen NOAA-AVHRR. (RGB. 3.2.1).	37
Figura 2.7	Sectores de la depresión central con formas del relieve afines.	38
Figura 2.8	Unidades de relieve de Castilla y León. Relieves de la depresión central Imagen NOAA-AVHRR. (RGB. 3.2.1).	39
Figura 2.9	Dirección de fallas estructurales de la depresión del Duero.....	41
Figura 2.10	Localización de las 60 estaciones termopluviométricas completas seleccionadas para el estudio.	58
Figura 2.11	Distribución de la precipitación media anual.	59
Figura 2.12	Registros de precipitaciones mensuales en 4 estaciones del área de estudio con máximos de precipitación invernal. Ejemplo año 1997.	60
Figura 2.13	Registros de precipitaciones mensuales en 5 estaciones del área de estudio con máximos de precipitación primaveral. Ejemplo año 1994.	61
Figura 2.14	Número de días absolutos con nieve para los años y estaciones indicadas.	62
Figura 2.15	Diagramas ombrométricos destacando el periodo de aridez de cuatro observatorios.	65
Figura 2.16	Ejemplos de estaciones con máximo pluviométrico primaveral.	66
Figura 2.17	Ejemplos de variabilidad interanual de precipitaciones otoñales. Mes de Octubre, años 1990-97. 4 estaciones de registro del área de estudio.	67
Figura 2.18	Temperaturas medias mensuales en capitales de Castilla y León. Periodo 1931-80. Resalte del inicio y fin de los meses con temperatura invernal.	68
Figura 2.19	Temperaturas mínimas absolutas. Periodo de heladas.	70
Figura 2.20	Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de las llanuras del W. Saelices, Salamanca. 680 m.	72
Figura 2.21	Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de páramo. Melgar. Burgos. 860 m.	73
Figura 2.22	Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de montaña del reborde meridional. Cillán. Ávila. 1212 m.	74
Figura 2.23	Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de montaña del reborde septentrional. Rabanal. León. 1150 m.	74
Figura 2.24	Ejemplos de inicio de la primavera en las tres grandes áreas de Castilla y León, según la localización.	75
Figura 2.25	Diferencias de inicio térmico del otoño según la localización.	76
Figura 2.26	Red hídrica de Castilla y León. Principales cursos fluviales.....	86
Figura 2.27	Red hídrica de Castilla y León. Cursos fluviales hasta 5º orden.	87
Figura 2.28	Esquema de la red de afluentes del Duero	89
Figura 2.29	CORINE Land Cover. Distribución de la vegetación natural en Castilla y León.	105
Figura 2.30	Comarcas agrarias de Castilla y León.	129
Figura 3.1	Estructura del espectro electromagnético.	132
Figura 3.2	Signaturas espectrales estandarizadas de diversas superficies.	134
Figura 3.3	Valores porcentuales de reflectividad de la vegetación sana.	136
Figura 3.4	Respuesta espectral de cuatro hojas con distinta pigmentación, entre .5 y .9 µm.	138
Figura 3.5	Reflectancia de hojas maduras.	140

Figura 3.6	Esquema de elementos básicos de hardware de un SIG.	168
Figura 4.1	Respuesta espectral NOAA10. Canal 1.....	176
Figura 4.2	Respuesta espectral NOAA10. Canal 2.....	176
Figura 4.3	Respuesta espectral NOAA11. Canal 1.....	177
Figura 4.4	Respuesta espectral NOAA11. Canal 2.....	177
Figura 4.5	Respuesta espectral NOAA12. Canal 1.....	177
Figura 4.6	Respuesta espectral NOAA12. Canal 2.....	177
Figura 4.7	Respuesta espectral NOAA14. Canal 1.....	177
Figura 4.8	Respuesta espectral NOAA14. Canal 2.....	177
Figura 4.9	Esquema del trazado y dimensiones de la antena de recepción SMARTech Professional utilizada para la captura de imágenes en tiempo real.	187
Figura 4.10	Vista del panel de control de la antena de recepción del software SMARTTrack.....	191
Figura 4.11	Vista del seguimiento de posiciones de satélites con el software SMARTTrack.	192
Figura 4.12	Listado de imágenes programadas para registro con el software SMARTTrack.....	194
Figura 4.13	Canal 2 de una imagen NOAA-AVHRR en proceso de grabación con SMATrack	195
Figura 4.14	Módulos de proceso de imágenes de satélite con ERDAS Imagine.....	196
Figura 4.15	Reconocimiento de datos AVHRR 1b a importar (fichero entrada) a formato .img (fichero salida).	196
Figura 4.16	Panel de opciones para la vista previa.....	196
Figura 4.17	Visualización del área de interés de la imagen 1b antes de su importación a .img.	197
Figura 4.18	Importación puntos de control para georreferenciación de la imagen.	198
Figura 4.19	Opciones de importación de la imagen: bandas, área.	198
Figura 4.20	Imagen NOAA 1b importada a formato .img de Erdas Imagine. Bandas 1 & 2.	198
Figura 4.21	Distribución de los GCP sobre la imagen.	202
Figura 4.22	Vista del editor de puntos de control. Coordenadas de origen y destino.	202
Figura 4.23	Acceso a la proyección y reproyección de coordenadas.	203
Figura 4.24	Acceso a las proyecciones de origen y destino.	203
Figura 4.25	Parámetros de proyección de origen.	203
Figura 4.26	Parámetros de proyección de destino.	203
Figura 4.27	Alteración con transformación lineal.	204
Figura 4.28	Alteración con transformación no lineal.	204
Figura 4.29	Error RMS y valores residuales por punto GCP.	206
Figura 4.30	Muestra de valores del error cuadrático medio (RMS) y residuales de los GCPs.	207
Figura 4.31	Valor total final del RMS.	207
Figura 4.32	Localización de la coordenada retransformada r por interpolación bilineal.	209
Figura 4.33	Interpolación lineal. Cálculo de los valores de salida como función de las distancias.	209
Figura 4.34	Píxeles entrando a formar parte del cálculo de la convolución cúbica.	210
Figura 4.35	Diálogo para el remuestreo de la imagen.	211
Figura 4.36	Algoritmo de cálculo del NDVI para una imagen NOAA-AVHRR.	214
Figura 4.37	Comprobación de ajuste de la georreferenciación de la imagen NDVI a los límites territoriales.	215
Figura 4.38	Aplicación de la paleta de color a los valores del NDVI.	216
Figura 4.39	Algoritmo de cálculo del MVC del NDVI.	217
Figura 4.40	Imagen resultado del MVC del NDVI (4-9 mayo 1998).	218
Figura 4.41	Imagen Landsat TM 201-31. Aranda de Duero. 23 de septiembre de 1992.	231
Figura 4.42	Mosaico Landsat TM sobre Castilla y León.	235
Figura 4.43	Modelo Digital de Elevación del terreno de Castilla y León y cartografías derivadas.	241
Figura 4.44	Base CORINE Land Cover de ocupación y usos del suelo en Castilla y León (64 clases).	251
Figura 4.45	Esquema de hojas parciales de Corine Land Cover de Castilla y León.	247
Figura 4.46	Recodificación de Corine Land Cover. 16 Clases.	252
Figura 5.1	Secuencia de análisis y relaciones entre fuentes de datos	259
Figura 5.2	Aumento y descenso del NDVI en Castilla y León. (Meses de mayo 1991-1996 en comparación con mayo de 1990).	262

Figura 5.3	Aumento y descenso interanual del NDVI en C y L para los meses de mayo de 1990 a 1996.	263
Figura 5.4	Representación de las estadísticas básicas de la imagen NDVI87m.	266
Figura 5.5	Medias mensuales del NDVI en Castilla y León. Enero 1990 - Marzo 1997.	267
Figura 5.6	Valores mensuales medios, mínimos y máximos del NDVI en Castilla y León. Periodo de medición de la serie, 87 meses.	269
Figura 5.7	Comparación de medias mensuales de NDVI ponderadas y observadas en Castilla y León.	269
Figura 5.8	Representación de la desviación típicas del NDVI en cada banda de NDVI87m.	271
Figura 5.9	Tipificación de histogramas recurrentes en las bandas de NDVI87m.	272
Figura 5.10	Esquema de recorridos de los transectos espaciales del NDVI.	279
Figura 5.11	Recorrido de los transectos espaciales entre estaciones termopluviométricas.	280
Figura 5.12	Análisis espacial del NDVI. Transecto S-N. Comparación de medias estacionales y mensuales.	283
Figura 5.13	Análisis espacial del NDVI. Transecto SW-NE. Comparación de medias estacionales y mensuales.	284
Figura 5.14	Análisis espacial del NDVI. Transecto W-E. Comparación de medias estacionales y mensuales.	285
Figura 5.15	Análisis espacial del NDVI. Transecto NW-SE. Comparación de medias estacionales y mensuales.	286
Figura 5.16	Análisis espacial del NDVI. Transecto SW-NW. Comparación de medias estacionales y mensuales.	287
Figura 5.17	Análisis espacial del NDVI. Transecto SE-NE. Comparación de medias estacionales y mensuales.	288
Figura 5.18	Cartografía del NDVI estacional y anual sobre Castilla y León.	297
Figura 5.19	Cartografía de las medias mensuales del NDVI sobre Castilla y León. (enero - junio).	298
Figura 5.20	Cartografía de las medias mensuales del NDVI sobre Castilla y León. (julio-diciembre).	299
Figura 5.21	Transecto SE-NE. NDVI primavera, NDVI medio abril, NDVI absoluto abril 1992-96.	301
Figura 5.22	Transecto SE-NE. NDVI verano, NDVI medio agosto, NDVI absoluto agosto 1992-96.	301
Figura 5.23	Transecto SE-NE. NDVI otoño, NDVI medio octubre, NDVI absoluto octubre 1992-96.	302
Figura 5.24	Transecto SE-NE. NDVI invierno, NDVI medio enero, NDVI absoluto enero 1992-96.	302
Figura 5.25	Transecto S-N. Perfil topográfico sobre NDVI medio de mayo y Agosto.	306
Figura 5.26	Transecto SW-NE. Perfil topográfico sobre NDVI medio de mayo y Agosto.	307
Figura 5.27	Transecto W-E. Perfil topográfico sobre NDVI medio de mayo y Agosto.	308
Figura 5.28	Transecto NW-SE. Perfil topográfico sobre NDVI medio de mayo y Agosto.	309
Figura 5.29	Transecto SW-NW. Perfil topográfico sobre NDVI medio de mayo y Agosto.	310
Figura 5.30	Transecto SE-NE. Perfil topográfico sobre NDVI medio de mayo y Agosto.	311
Figura 5.31	Puntos de muestreo del NDVI mono-específico. Tierras de labor de secano.	313
Figura 5.32	Valor medio mensual del NDVI. Muestreos mono-específicos. Tierras de labor de secano (I).	315
Figura 5.33	Valor medio mensual del NDVI. Muestreos mono-específicos. Tierras de labor de secano (II).	315
Figura 5.34 a)	Áreas con valores NDVI según muestreos mono-específicos. Marzo.	316
Figura 5.34 b)	Áreas con valores NDVI según muestreos mono-específicos. Mayo.	317
Figura 5.34 c)	Áreas con valores NDVI según muestreos mono-específicos. Junio.	318
Figura 5.35	Ejemplo de patrón de vigorosidad temporal del NDVI en zonas de montaña.	321
Figura 5.36	Ejemplo de patrón de vigorosidad temporal del NDVI en las penillanuras del oeste.	322
Figura 5.37	Ejemplo de patrón de vigorosidad temporal del NDVI en la depresión central.	322
Figura 5.38	Intensidad de los armónicos 7, 14, 4 y 22 (Ciclos NDVI de 12, 6, 22 y 4 meses).	326
Figura 5.39	Intensidad y temporalidad de oscilaciones del NDVI en 87 meses en cuatro estaciones termopluviométricas de Ávila.	327
Figura 5.40	Intensidad y temporalidad de oscilaciones del NDVI en 87 meses en tres estaciones termopluviométricas de León.	327

Figura 5.41	Intensidad y temporalidad de oscilaciones del NDVI en 87 meses en cuatro estaciones termopluviométricas de Soria.	328
Figura 5.42	Intensidad y temporalidad de oscilaciones del NDVI en 87 meses en tres estaciones termopluviométricas de Valladolid.	328
Figura 5.43	CP 1 y 2 de la imagen Landsat TM 201-31. 23.09.92, Aranda de Duero.	334
Figura 5.44	CP 3 y 4 de la imagen Landsat TM 201-31. 23.09.92, Aranda de Duero.	335
Figura 5.45	CP 5 y composición RGB, CP 1, 2, 4, de la imagen Landsat TM 201-31. 23.09.92, Aranda de Duero.	336
Figura 5.46	Componentes Principales de la imagen multitemporal NDVI87m.	340
Figura 5.47	Composición de CP de la imagen multitemporal NDVI87m: RG.1,2 .RGB.1,3,5.	341
Figura 5.48 a)	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) del mes de enero, sobre 1, 3 y 5 NDVI-MVC.	346
Figura 5.48 b)	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de enero, sobre 7 y 8 NDVI-MVC.	347
Figura 5.49 a)	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de mayo, sobre 1, 3 y 5 NDVI-MVC.	350
Figura 5.49 b)	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de mayo, sobre 6 y 7 NDVI-MVC.	351
Figura 5.50 a)	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de agosto, sobre 1, 3 y 5 NDVI-MVC.	354
Figura 5.50 b)	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de agosto, sobre 6 y 7 NDVI-MVC.	355
Figura 5.51	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de enero, sobre 1 y 8 NDVI-MVC.	358
Figura 5.52	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de febrero, sobre 1 y 8 NDVI-MVC.	359
Figura 5.53	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de marzo, sobre 1 y 8 NDVI-MVC.	361
Figura 5.54	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de abril, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	363
Figura 5.55	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de mayo, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	365
Figura 5.56	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de junio, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	366
Figura 5.57	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de julio, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	368
Figura 5.58	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de agosto, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	370
Figura 5.59	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de septiembre, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	371
Figura 5.60	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de octubre, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	373
Figura 5.61	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de noviembre, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	375
Figura 5.62	Clasificación no supervisada de cubiertas (16 categorías) en el mes de diciembre, sobre 1 y 7 NDVI-MVC.	377
Figura 5.63	Clasificación no supervisada de NDVI87m en 54 categorías. aproximación al nº de clases presentes en la clasificación CLC de Castilla y León.	379

TABLAS

Tabla 2.1	Temperaturas y precipitaciones medias mensuales y anuales de capitales de provincia de Castilla y León.....	55-56
Tabla 2.2	Relación de estaciones termopluviométricas completas consideradas en el estudio. Estaciones seleccionadas para ejemplificar características climáticas en Castilla y León, zonales (llanura, páramo, montaña) o estacionales.	56-57
Tabla 2.3	Estaciones seleccionadas para ejemplificar características climáticas en Castilla y León, zonales (llanura, páramo, montaña) o estacionales.	57
Tabla 2.4	Irregularidad de precipitaciones meses de invierno, años consecutivos.....	62
Tabla 2.5	Irregularidad de precipitaciones meses de verano, años consecutivos.	63

Tabla 2.6	Temperaturas mínimas absolutas de los meses de invierno, años consecutivos.	69
Tabla 2.8	Aumento de caudal del Duero entre el curso alto, medio y bajo.	88
Tabla 2.9 a)	Caudales máximos y mínimos en 5 estaciones de aforo de la cuenca del Duero.	89
Tabla 2.9 b)	Caudal medio aportado al Duero por los principales afluentes	90
Tabla 2.10	Superficie de las cuencas de los afluentes del Duero y longitud de los cursos fluviales.	91
Tabla 2.11	Capacidad de los embalses de las cuencas hídricas de Castilla y León.	92-93
Tabla 2.12	Comarcas Agrarias de Castilla y León. Fuente y criterio de comarcalización: MAPA, serie cartográfica de cultivos y aprovechamientos. Escala 1: 200.000.	124
Tabla 3.1	Causas de alteración de la reflectividad normalizada de la vegetación.	141
Tabla 4.1	Estado de operatividad de los instrumentos de las naves NOAA.....	174
Tabla 4.2	Características espectrales Sensores AVHRR 1 y 2.....	176
Tabla 4.3	Estructura del formato LAC/HRPT de los datos NOAA-AVHRR	179
Tabla 4.4	Resumen de tiempos y volúmenes de procesamiento de las imágenes NOAA- AVHRR para la imagen serie NDVI87m.....	219
Tabla 4.5	Estructura de bandas de la imagen NDVI87m. Relación banda/mes de la serie.	220
Tabla 4.6	Algunas características de los satélites Landsat.	222
Tabla 4.7	Propiedades espectrales. Sensores MSS y RBV. Primera generación.	223
Tabla 4.8	Propiedades espectrales. Sensores MSS y RBV. Segunda generación.	224
Tabla 4.9	Propiedades espectrales. Sensores MSS y RBV. Aplicaciones.	224
Tabla 4.10	Referencia de imágenes Landsat TM para cubrimiento de Castilla y León.	232
Tabla 4.11	Categorías y superficies de las 64 clases CLC en Castilla y León.	248-249
Tabla 4.12	Agrupación de clases para recodificación de 64 categorías CLC en 16.	249
Tabla 4.13	Superficies de las 16 categorías CLC recodificadas.	250
Tabla 5.1	Objetivo y estructura de análisis de las fuentes del estudio.	259
Tabla 5.2	Estadísticas de las bandas de la imagen NDVI87m.	264-265
Tabla 5.3	Medias mensuales y estacionales de NDVI para Castilla y León. Valores derivados de la serie NDVI87m.	268
Tabla 5.4	Matriz de covarianzas de las bandas B1-B12 de NDVI87m (ene- dic 1990).	273
Tabla 5.5	Matriz de covarianzas de las bandas B13-B24 de NDVI87m (ene-dic 1991).	274
Tabla 5.6	Matriz de covarianzas de las bandas B25-B36 de NDVI87m (ene-dic 1992).	274
Tabla 5.7	Correlación entre valores del NDVI de las bandas 73 a 84 (1996) con bandas 1 a 84.	276-277
Tabla 5.8	Listado de orientación, longitud y estaciones termopluviométricas de localización de los transectos de análisis espacial del NDVI.	281
Tabla 5.9	Muestreos monoespecíficos de valores NDVI sobre superficies de labor en secano.	314
Tabla 5.10	Correlaciones entre la serie multitemporal de NDVI en los 60 puntos de muestreo y el resto de la Comunidad.	323-324
Tabla 5.11	Análisis del NDVI en 60 estaciones termopluviométricas mediante transformada discreta de Fourier. Correspondencia entre los armónicos y la recurrencia en meses de ese evento.	325
Tabla 5.12	Autovalores y % de la varianza retenida por cada CP de la imagen de Aranda de Duero Landsat TM 201-31.	332
Tabla 5.13	Matriz de autovectores de la imagen de Aranda de Duero Landsat TM 201-31.	332

1000 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1100 ENCUADRE DEL ESTUDIO

Este trabajo se inició con el interés genérico, pero omnipresente, de comprender mejor la **territorialidad** de Castilla y León en su dimensión global-regional, desde la perspectiva aportada por la **observación remota**. *Territorialidad* nos habla de geografía regional, de análisis espacial; la *observación remota* nos introduce en la silenciosa y compleja esfera técnica de los satélites y la física del espectro electro-magnético, en el mundo de la teledetección. Estos dos ejes articulan el estudio.

Nuestro interés por estos temas se apoya en **herencias académicas** muy definidas. En primer lugar, el enfoque de análisis regional y de globalidad física está en consonancia con las líneas de investigación y docencia del Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física de la UCM en el que se presenta este estudio, y que ha sido la primera escuela de nuestro afán por saber *dónde ocurre lo que ocurre y por qué*. En segundo lugar, parte de la orientación dada a nuestro estudio está marcada por el estilo de hacer geográfico aprendido en la Escuela de Geografía de la Universidad de **Nueva Gales del Sur**. El carácter académico anglosajón, de marcado corte pragmático y cuántico, valora sobremanera lo técnico; quizá por esto, la teledetección tiene un peso específico absoluto a lo largo de todo el trabajo. Ambas aproximaciones al quehacer geográfico, la físico-regional y la técnico-cuántica, cuentan con aspectos encomiables e imputables; pero, en nuestra opinión, nada impide la combinación de metodologías, fines y aplicaciones de ambos estilos.

Además del interés personal en los temas señalados, otras **dos causas** de orden práctico enfocaron nuestro estudio a través de la **teledetección**, de manera inmediata. **La primera** fue el marco de trabajo generado por el mecenazgo del Ministerio de Educación y Cultura para Formación de Personal Investigador desplazado en industrias. En nuestro caso, por los acuerdos suscritos con una empresa de teledetección, la línea de investigación resultaba meridiana y obligada. **La segunda** causa vino otorgada por la facilidad de acceso a imágenes de los satélites NOAA, y a otras formas de información geográfica digital puesta a nuestra disposición.

La facilidad de acceso y proceso de gran cantidad de imágenes significaba un reto y, a la vez, nos obligó a perfilar los contenidos del trabajo y aplicación de nuestro estudio. El desafío se encontraba en hacer de los datos de satélite algo fácilmente accesible, manejable, incorporable a sistemas de información con significado propio para especialistas y profanos.

Decidimos centrar el **área** y el **periodo** de nuestro trabajo sobre **Castilla y León**, entre enero de 1990 y marzo de 1997, sumando en total **87 meses** de observaciones NOAA-AVHRR (Figura 1.1).

1200 CONCEPTOS PRELIMINARES DE TELEDETECCIÓN

Aunque dedicamos varias secciones del Capítulo 3 a explicar los contenidos de la teledetección implicados en nuestro estudio, nos parece necesario aclarar una serie de términos en estos primeros párrafos, con el fin de **llenar de significado el planteamiento** y formulación de nuestra **tesis** de investigación y los objetivos de trabajo. Interesa por el momento definir y distinguir varias propiedades genéricas de los sensores que transportan los satélites, ya que, las cualidades físicas y técnicas del diseño de los sensores determinan las características del dato y los límites de uso de las imágenes para investigación y aplicaciones. Lo primero que nos preguntamos es: **¿qué datos registran** los satélites en su observación remota-pasiva de la superficie terrestre?: registran valores de energía electromagnética proveniente de las cubiertas; es decir, valores de **radiancia**. Algunas características de esos datos son las que definimos a continuación:

Resolución espacial: esta propiedad se refiere a la porción de la superficie terrestre de la que obtiene información el sensor. El elemento de medición es el **Pixel**, que determina el tamaño más pequeño de la muestra y por ende la capacidad de distinguir objetos en el espacio. Así, se habla de satélites de **Alta Resolución Espacial**, como Landsat TM (pixel 30 m.), SPOT-P (10m.) o los satélites para aplicaciones militares reservadas (Helios 2 m.), y de satélites de **Baja Resolución Espacial**, como NOAA-AVHRR (1 Km.) o Meteosat (2,5-5 Km.).

Resolución temporal: esta propiedad nos informa de la periodicidad con que un sensor vuelve a cubrir un mismo punto de la superficie terrestre, repitiendo el registro del dato espectral. El ciclo de cobertura depende de las características orbitales del satélite así como de algunas propiedades mas ó menos sofisticadas de algunos sensores como la posibilidad de variación del ángulo de observación o de abertura. Así, volvemos a contemplar satélites de **Alta Resolución Temporal**, como NOAA-AVHRR (hasta 6 imágenes /día sobre latitudes medias) y Meteosat (1 imagen cada media hora) y de satélites de **Baja Resolución Temporal**, como Landsat TM (16 días) o SPOT (26 días programable). En esta propiedad radica la posibilidad y características de las **series multitemporales**.

De lo dicho en los párrafos anteriores se desprende que la **relación** entre la **resolución espacial y temporal** de los sensores, generalmente, **es inversa**. A mayor nivel de detalle espacial, menor frecuencia; por el contrario, cuanto menor sea la resolución espacial, mayor frecuencia de observación y de toma de datos.

Resolución espectral: esta propiedad nos informa de la capacidad que tiene el sensor para registrar la radiación electromagnética y discriminar señales de longitudes de onda diferente. Cualquier imagen encierra un registro multiespectral limitado y constante, en el sentido del *abanico* de longitudes de onda que los filtros del sensor pueden separar.

Así, por ejemplo los sensores multispectrales transportados por aviones para toma de datos a baja altura tienen 16, 32 y hasta 64 bandas espectrales, mientras que los sensores transportados por satélites tienen menos de 10 (Landsat TM tiene 7 y SPOT espectral tiene 3). Las bandas espectrales de los satélites se han diseñado con una sensibilidad específica para ciertos rangos del espectro electromagnético y solo para esos, de manera que se optimiza el registro de ciertas categorías de información. Las bandas del infrarrojo cercano y de la región de las microondas discriminan características de las superficies que resultan invisibles al ojo humano tales como la presencia de minerales o el vigor de la vegetación. Dentro de los límites de las bandas, la multitemporalidad del dato espectral añade un gran valor al introducir una periodicidad en la que los datos no son únicos sino que pueden ser descompuestos en una serie y analizados. Las cualidades espectrales de las imágenes son las que nos llevan a su análisis para alcanzar un objetivo. Es decir, los valores espectrales nos permiten clasificar la imagen.

Resolución radiométrica: Esta propiedad nos informa de la capacidad que tiene el sensor para distinguir señales electromagnéticas de energía diferente en una misma banda espectral. El valor de cada pixel puede ser codificado en 8 bits (256 niveles), 10 bits (1024 niveles), 11 bits (2048 niveles), etc.

Corrección, realce y mejora de la imagen: Según lo apuntado hasta el momento se deduce que las imágenes de satélite no son fotografías ni película, sino una matriz numérica de valores físicos de las superficies. Por tanto, esos bloques numéricos son susceptibles de correcciones, mejoras y realces que permitan una interpretación significativa. Así, hablamos de correcciones geométricas, radiométricas, atmosféricas, adaptación de los valores radiométricos a niveles de visualización en rangos de grises o colores, ajuste de contrastes o filtros que resalten ciertos componentes de interés.

Además, la matriz numérica contiene datos de variables físicas de las que se desprende una pseudo tematización inmediata de la imagen: las bandas visibles y del infrarrojo informan sobre la reflectividad de las superficies, mientras que las del infrarrojo térmico lo hacen sobre la temperatura. La combinación de medidas físicas directas permite derivar variables secundarias que, de hecho, ofrecen una continuidad temática de la imagen sin haberla sometido todavía a los procesos de clasificación. Este es el caso de los **índices de vegetación** que tematizan los valores espectrales de la imagen mediante cocientes entre bandas, y cuya función es siempre la de resaltar la contribución de la vegetación en la señal radiométrica. Uno de esos *ratios* es el **Índice de Vegetación Normalizado (NDVI)**, (Rouse *et al.* 1974)¹, que se logra mediante la diferencia normalizada de las bandas roja e infrarroja.

1 Rouse, J. W., Haas, R. H.; Schell, J. A., Deering, D.W., Harlan, J. C. (1974), Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, pp.371.

Clasificación de una imagen: en términos muy generales, la clasificación es la asignación de un valor de categoría temática a cada valor espectral de la imagen; de este modo, la imagen deja de ser meramente cuantitativa y adquiere caracteres cualitativos.

Somos conscientes de que estos términos requieren una amplia explicación, lo que realizaremos en su momento a lo largo de esta memoria.

1300 SERIES MULTITEMPORALES DE IMÁGENES NOAA-AVHRR. SERIE NOAA-AVHRR87m

Hemos podido reconstruir la respuesta espectral de las cubiertas del terreno en Castilla y León entre 1990 y 1997 mediante la recuperación del registro de reflectividades capturado por los sensores AVHRR en **una serie multitemporal de imágenes NOAA-AVHRR**. Se **procesaron 1200 imágenes**, de las que **1012 (84,3%)** resultaron **útiles**, para cubrir el periodo de **87 meses** que nos interesaba. Esta serie multitemporal pasó a constituir el terreno de evidencia física sobre el que cobraba realidad nuestro estudio. A efectos prácticos, denominaremos esta serie **NOAA87m**.

¿De donde nace ese interés y el valor científico de una serie multitemporal de imágenes de baja resolución espacial, y en concreto de NOAA-AVHRR?. En nuestra opinión, el **valor de las series multitemporales de satélite de alta resolución temporal** radica en que la repetitividad del dato espectral otorga una gran precisión a la serie y a las aplicaciones que de ella se puedan hacer, tales como la clasificación o seguimiento de cubiertas, por las siguientes dos razones:

- I. Porque, para cualquier punto del terreno, la distorsión infringida por valores extremos queda suavizada por medición de la repetición de datos.
- II. Porque cualquier valor que se quiera analizar se encuentra en el contexto de una serie de respuestas, con ritmos y fluctuaciones analizables en el todo y en sus partes.

Una referencia comparativa a los datos meteorológicos puede ilustrar más gráficamente el valor de una serie multitemporal de imágenes NOAA-AVHRR, accesible y operativa: el dato de la temperatura media del día de hoy en nuestra ciudad tiene un valor muy relativo y, por si solo, muy efímero; por contraste, la serie de mediciones diarias de la temperatura media durante cincuenta años, encierra información más significativa. Del mismo modo, una sola imagen de satélite tiene muy poco que decir frente a los valores de observación continuados. Por las características orbitales de los satélites, el registro acumulativo diario de datos de satélite solo es posible, de momento, con las naves que fueron concebidas para usos meteorológicos, ya sean estas geoestacionarias² como el Meteosat o heliosíncronas³ como las NOAA.

2 Satélites geoestacionarios son aquellos cuya órbita está sincronizada con la de la tierra, de forma que la acompañan al mismo ritmo, observándola siempre sobre un mismo punto. Ej. Satélites Meteosat.

3 Satélites heliosíncronos son aquellos cuya órbita está sincronizada con el sol.

Existen muy pocos archivos multitemporales NOAA-AVHRR que sean verdaderamente accesibles y operativos. El Instituto Nacional de Meteorología comenzó a operar sus propias antenas NOAA en 1997, pero no archiva las imágenes para estudios posteriores o retroactivos. La Universidad de Valladolid (LATUVA) en 1994; el INTA se surtía de las imágenes de Eurimage hasta 1996. Estos datos nos dan alguna idea de la situación en nuestro país que, aunque en la actualidad ha mejorado, en el momento de comenzar nuestro trabajo (1995) era desoladora. Por otra parte, resaltan el valor de la serie construida

La Agencia NOAA del Departamento de Comercio de los EEUU y propietaria de los satélites, así como sus centros de registro repartidos por los cinco continentes, guardan el archivo completo de las imágenes desde el lanzamiento del primer satélite de la serie en 1978, que está siendo profusamente utilizado por el programa conjunto NOAA-NASA de investigación sobre Cambio Global *Mission to Planet Earth*. Otros centros como la Universidad de Dundee en Escocia o la extensión comercial de la Agencia Europea Espacial (Eurimage) en Roma, también guardan una gran base *histórica* de imágenes. Pero en todos esos casos, como demostraremos más adelante, los fondos resultaban difícilmente abordables por limitaciones económicas, por no tratarse de un gran proyecto de investigación internacional o porque las imágenes de fechas más antiguas se encontraban archivadas en formatos obsoletos en proceso de actualización.

El valor y utilidad de una serie multitemporal de imágenes de baja resolución espacial para seguimiento global se refuerza si consideramos las características propias de los satélites de alta resolución espacial. Ante la hipotética posibilidad de organizar un archivo espectral a partir de todas las posibles imágenes Landsat TM obtenidas sobre Castilla y León, el proyecto no tendría viabilidad fluida inmediata por las siguientes razones:

- las tomas de datos se reducirían a dos al mes,
- se necesitan nueve imágenes para cubrir el territorio,
- habría que desestimar un porcentaje de imágenes por cubrimiento de nubes,
- las distintas órbitas y fechas de barrido para un área tan amplia introducen variaciones espectrales que dificultan la unificación del mosaico,
- el volumen de datos informáticos, aunque manejable, resulta muy incómodo,
- el presupuesto requerido para completar cada mosaico se acerca a los cinco millones de pesetas, (coste de las imágenes en 1999).

Además de los argumentos apuntados, existen otras razones de orden práctico por las que decidimos construir nuestra base de trabajo sobre una serie multitemporal de imágenes NOAA-AVHRR:

Disponibilidad: La empresa en la que hemos desarrollado nuestra formación como personal investigador dispone de una antena para la recepción directa de imágenes, que puso a nuestra disposición. Al trabajar con una estación receptora NOAA-AVHRR, las

técnicas de programación, captura y transferencia de datos quedaron incorporadas a los procesos del trabajo. Mediante el registro directo asegurábamos que las observaciones fueran diarias, y así se hizo entre enero de 1995 y marzo de 1997. Además, se puso a nuestra disposición otro archivo de observaciones no procesadas sobre el mediterráneo, entre los años 1990-95. Asimismo, tuvimos la posibilidad de completar la serie retroactivamente hasta 1990 investigando y gestionando su acceso y proceso en varios laboratorios de teledetección de la Unión Europea.

Aunque la tarea de proceso de imágenes resultaba ingente, la tomamos como un reto, ante la posibilidad de construir la serie más larga y completa de observaciones NOAA-AVHRR de la que tengamos conocimiento para los años referidos, sobre la península Ibérica, de acceso directo con las tecnologías informáticas actuales. Debemos apuntar una salvedad a lo anterior y es el banco de imágenes del proyecto MARS (*Monitoring Agriculture through Remote Sensing*) del Centro Común de Investigación de la Unión Europea.

Costes: optamos por trabajar con NOAA-AVHRR por razones de orden económico ya que son las imágenes más baratas que pueden encontrarse en el mercado, por la frecuencia de observación y por la accesibilidad al dato por el convenio Metrosan-UCM. En el caso de disponer de una antena de recepción, el coste es nulo en cuanto a los *royalties* exigidos por la Agencia propietaria del satélite sobre cada imagen. El caso opuesto sucede con imágenes Landsat TM, SPOT, etc., de ahí su elevado coste.

Por los acuerdos universidad-empresa, los costes de las imágenes y de su proceso quedaron asumidos por la empresa; su valor comercial real se desglosa en capítulo 4. El coste de las imágenes NOAA-AVHRR de archivo correspondientes a los años 1990-94, así como un mosaico Landsat-TM sobre Castilla y León, también lo asumió la empresa. El coste total de las imágenes asciende a 17.279.056 de pts. Esta cantidad no incluye otros datos como información alfanumérica (ej: BCN), software, hardware o costes laborales. En el capítulo 4 proporcionamos el desglose completo de los gastos y amortizaciones del estudio.

Frecuencia de observación: la resolución temporal de NOAA-AVHRR es una de las características más positivas de estos satélites y sobre ella formulamos uno de los postulados de trabajo de la tesis, con varios objetivos, como explicamos a continuación.

Proceso: existe una praxis estandarizada e informatizada de los principios físicos a aplicar a las imágenes NOAA para su corrección y posterior análisis de aplicación. La posibilidad de contar con los medios informáticos de hardware y software para el proceso de las imágenes no nos hizo dudar sobre las posibilidades que se nos brindaban.

Archivo: sin entrar en detalles técnicos, a los que ya nos referiremos en su momento, apuntamos que, el volumen informático de datos a gestionar en cada imagen NOAA es más pequeño, y por tanto más manejable, que con otras imágenes de satélite. Dados los

soportes informáticos de archivo y proceso con que contábamos al inicio de nuestro trabajo, la decisión era favorable a NOAA.

A pesar de las razones aducidas, entre especialistas se mantiene abierto el debate, con cierta razón, acerca del relativo valor de un trabajo basado en datos considerados de “baja calidad” como puedan ser los NOAA-AVHRR, por su escasa precisión espacial, distorsiones del ángulo de observación del sensor y otros muchos puntos débiles que discutiremos más adelante. Su argumento de defensa para tal crítica pasa por la apología de los datos de “alta calidad”, es decir, los de alta resolución espacial. Parece lógico pensar que, si la calidad del dato de partida es mayor, el análisis y clasificación que se pueda hacer de esos datos siempre tendrá mayor precisión.

A pesar de lo apuntado en el párrafo anterior, NOAA-AVHRR es más preciso que otras imágenes de alta resolución (Landsat) por su resolución radiométrica: 256 niveles en Landsat frente a 1024 en NOAA, si bien es cierto que, con frecuencia surgen interferencias a eliminar. Además, el índice de vegetación ya es una forma de mejora del dato inicial y de estandarizar la medida dentro de un rango de 2000 niveles entre ± 1 . En esta argumentación se enraíza el postulado general de nuestra tesis de trabajo.

1400 SERIES MULTITEMPORALES DE INDICES DE VEGETACIÓN NDVI. SERIE NDVI87m

La serie multitemporal de **imágenes** tiene un valor relativo y un valor objetivo. Por **valor relativo** entendemos que las imágenes originales, con el solo valor añadido de la georreferenciación y catalogación, son sólo eso: datos. Por **valor objetivo** entendemos que la articulación de miles de imágenes en un registro vivo, estandarizado, rectificado geométricamente⁴, sobre soporte de fácil acceso y consulta, con la mejora espectral del NDVI y la facilidad de obtener subsiguientes clasificaciones, tiene objetivamente un valor inestimable. El objetivo fáctico de la teledetección es la aportación de información temática, de ahí la gran importancia de disponer los datos de tal manera que se puedan obtener múltiples clasificaciones. En nuestra opinión, la estructura de organización y aplicación de imágenes de satélite maximiza su inclusión posterior, ya tematizada, en sistemas de información y análisis geográfico.

Las imágenes clasificadas intentan solucionar vacíos de conocimiento **espacial** a los que a menudo se une un desconocimiento **temporal**. En el caso de la agricultura, para contrastar cambios estacionales de usos y ocupación del terreno, la comparación se verifica recurriendo a dos fechas de una misma imagen de alta resolución espacial; en este tipo de análisis lo que importa es el *dónde* y *cuanto*, más que el *cuando*. Este modo de proceder aplica un concepto analítico-comparativo, no evolutivo, ya que carece de un

4 Se entiende por rectificación geométrica o georreferenciación la corrección de distorsiones geométricas inherentes a cualquier imagen de satélite, así como la asignación de un sistema de proyección y coordenadas estandarizado.

continuo temporal, de una serie temática más o menos completa que exprese ritmos y fluctuaciones de ese tema.

Así, perfilamos los objetivos de trabajo poniendo al servicio del análisis territorial y del seguimiento del medio toda esa cantidad de observaciones, mediante el índice de vegetación normalizado (NDVI), lo que supone un dato cuantitativo y no solo cualitativo. Nuestro objetivo en esta memoria es realizar un estudio sobre la elaboración y mantenimiento sistemático de una serie multitemporal de índices de vegetación, para su utilización como soporte de clasificaciones rápidas de las cubiertas del terreno y para seguimiento evolutivo del medio.

En el apartado anterior nos referíamos al seguimiento conjunto que sobre Cambio Global llevan a cabo las agencias NOAA y NASA; el programa *Mission to Planet Earth* se desarrolla, en parte, sobre en el análisis de las largas series de NDVI que puede elaborar a partir de su archivo histórico propio. Existen otros ejemplos de seguimiento del medio a partir de series multitemporales de NDVI a los que nos referimos frecuentemente; en esta introducción apuntamos los del Centro Común de Investigación de la Unión Europea para seguimiento de la agricultura (*MARS*) y de las masas arbóreas tropicales.

En nuestro caso, no deseamos competir con instituciones internacionales o con grupos de trabajo consagrados, sino llegar a aplicaciones más locales. Llevamos a cabo unos procesos que, con otros fines (agrícolas, forestales) se han aplicado en diversas áreas del mundo. De hecho, la unión Europea ha mantenido un seguimiento remoto con NOAA-AVHRR del área de Castilla y León con fines exclusivamente agrícolas, para control de objetivos de la Política Agraria Comunitaria. Pero, desafortunadamente, ese cúmulo de observaciones

- Se mantienen en posesión de la Comunidad, JRC (*Joint Research Center*, Centro de Investigación Común). Concesiones parciales a grupos de trabajo e investigación en los que el UE tome parte.
- Los formatos informáticos de las imágenes más antiguas requieren programas de conversión para que puedan ser procesados con los equipos actuales.
- Los archivos guardan las imágenes originales, no las tematizadas.
- El fondo de imágenes se encuentra en Ispra (*JRC*) y el catálogo del archivo histórico está en proceso de actualización para ser consultado por la red.

Así, la utilidad de las imágenes NOAA-AVHRR y de los NDVI derivados de las mismas está probado, a pesar de que la comunidad científica reclame nuevos satélites y sensores más dotados (p.ej.: los sensores *MODIS* –1999– y *VEGETATION* –1997– a bordo del SPOT 4).

Sería deseable que muchas más agencias dependientes de la administración pública y responsables de diversas parcelas de la gestión del medio, del territorio y de los recursos naturales contaran con la base de estos fondos documentales para su gestión. Con

nuestro trabajo deseamos demostrar las bases científicas, técnicas y la viabilidad de un sistema de seguimiento temporal del estado del medio basado en el **análisis de Fourier de una serie multitemporal acumulada del NDVI**. Lógicamente la serie analizada es la obtenida por proceso de la serie NOAA87m, y a la que nos referiremos a efectos prácticos con las siglas **NDVI87m**.

1500 FORMULACIÓN DEL POSTULADO DE TESIS

A partir de la introducción conceptual y las bases científicas encerradas en las series multitemporales de NDVI para seguimiento del medio y de las cubiertas del terreno, formulamos nuestra tesis de trabajo en los siguientes términos.

Sostenemos que, la **repetición del dato** contenida de una **larga serie multitemporal** de índices de vegetación normalizado (**NDVI**), obtenidos por proceso de imágenes **NOAA-AVHRR**, proporciona calidad de dato suficiente para hacer de los datos de baja resolución espacial, **dispuestos en forma de serie**, una fuente de datos rigurosa al menos, para:

1. el seguimiento temporal de eco-ritmos a escala regional, mediante análisis de series multitemporales de la respuesta espectral del NDVI.
2. la clasificación dinámica y actualización de las cubiertas del terreno, mediante métodos de clasificación no supervisados.

Si hubiéramos de expresar esta formulación en términos sintéticos, periodísticos, podría decirse: *multiplicidad del dato espectral de baja resolución espacial **versus** singularidad de dato espectral de alta resolución espacial.*

1. Evidenciamos el primer punto mediante aplicación del **análisis de series de Fourier** a la serie **NDVI87m** así como el **análisis de perfiles espectrales multitemporales**. El análisis de la serie NDVI87m con las siguientes técnicas:
 - análisis visual de fechas contrastadas,
 - análisis de las estadísticas de la imagen,
 - análisis espectral, espacial y multitemporal,
 - análisis de Fourier,
 - análisis de componentes principales.
2. Evidenciamos el segundo punto mediante **la clasificación** mensual no supervisada de cubiertas de la serie **NDVI87m** y, su valoración respecto a
 - la clasificación estandarizada CORINE,
 - la clasificación efectuada por el MAPA sobre cultivos y aprovechamientos.

1600 OBJETIVOS DEL PLAN DE TRABAJO

Así, teniendo en cuenta las premisas estructurales apuntadas, formulamos los objetivos del plan de trabajo:

Objetivo 1: construir un banco de observaciones NOAA-AVHRR sobre Castilla y León entre 1990 y 1997, de formato informático y parámetros geográficos estándares.

Objetivo 2: sobre la base del objetivo 1, obtener el índice de vegetación normalizado (NDVI) de todas y cada una de las imágenes, así como la composición del valor máximo (MVC) mensual del índice. En otras palabras, debíamos construir la clasificación de la respuesta espectral de la vegetación sobre Castilla y León, día a día y mes a mes, durante los 87 meses de estudio.

Cumplidos los objetivos 1 y 2, el plan de trabajo se articula sobre dos conceptos analíticos, uno espacial (objetivos 3 y 4) y otro temporal (objetivo 5).

Objetivo 3: demostrar que la clasificación de cubiertas del terreno mejora al aumentar el número de observaciones que entran en la clasificación. Dicho de otro modo, la precisión de la clasificación espacial aumenta con el número de tomas espectrales que entran a formar parte de la serie.

Objetivo 4: demostrar la precisión y bondad del objetivo 3, contrastando la clasificación operada sobre la serie NDVI87m, en comparación con las clasificaciones efectuada sobre:

- i. Una sola imagen Landsat TM del área de Aranda de Duero.
- ii. Un mosaico de imágenes Landsat sobre todo Castilla y León.
- iii. La base CORINE de ocupación y usos de suelo de Castilla y León.

Objetivo 5: determinar, mediante análisis de Fourier, la información sobre eventos temporales encerrados en la serie y que las imágenes individuales o los compuestos mensuales no translucen (incidencias cíclicas estacionales, fenómenos extraordinarios o cambios paulatinos de larga periodicidad). Se desea, así mismo, demostrar la sencillez conceptual aplicada a este análisis temporal, y resaltar la cantidad de información del medio que queda desestimada al no establecerse rutinas estandarizadas de registro y análisis de unos datos de tan fácil acceso. Por otra parte, el análisis de Fourier demuestra la viabilidad de gestionar fácilmente el gran volumen de datos que día a día se suman a la serie.

Objetivo 6: el último objetivo de trabajo supone una evaluación crítica de las acciones y logros de los objetivos anteriores para plantear la viabilidad de instalación de un sistema de seguimiento del medio sobre nuestra experiencia, atendiendo a aspectos económicos, administrativos, técnicos y de aplicaciones.

La intención de estos objetivos de trabajo es netamente práctica y a lo largo del desarrollo del estudio nos referiremos a su aplicabilidad en instituciones responsables de la gestión del territorio y de recursos naturales, tales como los agrícolas o hídricos

Aunque el planteamiento inicial de trabajo sólo contemplaba el uso y proceso de datos NOAA-AVHRR, la necesidad de **verificar** los resultados nos llevó a contar con otras fuentes de datos geográficos digitales compatibles. Para la verificación de los objetivos de carácter espacial, recurrimos a imágenes Landsat TM y a la base CORINE de ocupación y usos de suelo. Para el de análisis temporal, recurrimos a las series termopluviométricas de 60 observatorios completos de la Comunidad. La metodología de tratamiento de las fuentes, tal y como se explica en detalle en el capítulo correspondiente, nos hizo contar con la Base Cartográfica Nacional y con dos modelos digitales del terreno (80 y 200 m) de nuestra zona. Así, aunque no fuera nuestro propósito inicial, se ha generado un sistema de información geográfica (**SIG**) de Castilla y León, sobre el que también daremos cuenta.

En esta introducción de objetivos se han nombrado términos específicos que necesitan una detallada exposición o discusión. ¿Qué es la teledetección?, ¿Qué características tienen las imágenes NOAA-AVHRR?, ¿Y las Landsat TM?, ¿Qué es y por qué se ha optado por el índice de vegetación normalizado?, ¿Por qué se aplica el análisis de Fourier?, ¿Por qué se clasifican las cubiertas del terreno a partir de imágenes ya tematizadas por el NDVI?, ¿Es superior la complejidad técnica de los SIG a su acceso inmediato y práctico?En los sucesivos capítulos se irán fundamentando y respondiendo estas preguntas y muchas otras, hasta conseguir, esperamos, avalar la utilidad de las series multitemporales acumuladas de observaciones de satélites de baja resolución espacial, en especial sobre regiones con una cierta homogeneidad estructural. Y en concreto, esperamos conseguirlo para el caso de Castilla y León.

1700 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

Además de lo apuntado en la introducción, la estructura de esta memoria se organiza del siguiente modo: el **Capítulo 2** es una revisión bibliográfica de los dos grandes temas que apuntamos en el primer párrafo de esta introducción: una descripción del medio físico de Castilla y León apoyada en cartografías derivadas de imágenes de satélite de nuestra serie. Al hilo de los epígrafes del análisis regional, proporcionamos una revisión de usos y aplicaciones de la teledetección en ese tema (p. ej.: geomorfología, clima, biomasa, recursos hídricos, etc.). Aunque la teledetección es una ciencia relativamente moderna, los continuos logros han generado tal volumen de publicaciones al respecto que estaría fuera de lugar pretender ser exhaustivos en este punto. Por eso, nos hemos ceñido a dos criterios de actuación en la revisión bibliográfica: primero, referirnos a estudios y autores considerados *clásicos* o *padres* en una determinada aplicación de la teledetección y, segundo, proporcionar referencias de contacto en la red mundial de

comunicaciones (www) de instituciones, autores, grupos de trabajo o proyectos de investigación internacional. Estos criterios de revisión bibliográfica se mantienen en los siguientes capítulos.

El **Capítulo 3** presenta los fundamentos teóricos de teledetección y proceso de imagen asumidos en nuestro trabajo. Hemos dividido los contenidos en cuatro grandes áreas temáticas: (i) **principios generales** de teledetección; (ii) generación de información temática continua a partir de la información *bruta*: índices de vegetación (**NDVI**) y compuestos del valor máximo (**MVC**); (iii) **análisis** de una señal multitemporal según la transformada discreta de **Fourier**; análisis de los componentes principales de una serie (**ACP**) y **clasificación** de la misma; (iv) aproximación a la gestión de datos de teledetección en un sistema de información geográfica (**SIG**).

El **Capítulo 4** desglosa en detalle la naturaleza de las **fuentes de datos** a las que hemos recurrido y el **proceso** de preparación de los datos **previo** al análisis. Especificamos las **bases físicas** de los datos geográficos digitales utilizados, puesto que a este nivel se encuentran las especificaciones técnicas a tener en cuenta según el análisis o aplicación a realizar. El **pre-proceso** de imágenes de satélite es *conditio sine qua non* para cualquier aplicación temática y analítica. Entendemos por pre-proceso tareas como la programación, captura, transmisión y volcado de formatos, georreferenciación e integración con otros datos de origen diverso. Entendemos que el control de estas etapas intermedias debe de ser muy estrecho de manera que se asegure el control de la calidad de la serie de datos.

Al remontarnos a la constitución física de los datos y a su proceso queremos responder a muchas preguntas que se hacen tantos que se acercan por primera vez a la teledetección: cada cuestión espera una respuesta concreta, encuadrada en un área científica que para muchos puede resultar inicialmente farragosa;

- *¿Qué es ...?*, es la consulta que pide explicación detallada de los contenidos.
- *¿Por qué ...?*, se interesa por los fundamentos físicos, pide explicaciones de la evidencia aportada por los datos.
- *¿Cómo ...?*, atiende a los procesos o pide razón de ellos.
- *¿Para qué ...?*, quiere saber el objetivo final práctico de una actuación o proceso.

En resumen, en este capítulo desglosaremos los orígenes, estructura y pre-proceso de las siguientes series de datos:

- i. Imágenes NOAA-AVHRR, desde la programación de adquisición hasta la obtención de la imagen clasificada por el NDVI.
- ii. Imágenes del máximo valor compuesto (MVC) mensual.
- iii. Imágenes Landsat-TM: georreferenciación, unión de imágenes en mosaico y clasificación de las mismas.
- iv. Base CORINE de usos y ocupación del suelo: gestión de bases vectoriales parciales del área de Castilla y León.

- v. Base Cartográfica Nacional (BCN 200).
- vi. Modelos Digitales del Terreno de Castilla y León.

En este capítulo resulta obligada, además, la referencia a los programas informáticos utilizados para el proceso de datos, teniendo siempre en cuenta que sólo son unos medios para un fin. Hemos utilizado programas puestos a nuestro alcance en la empresa, muy variados y capaces de gestionar grandes volúmenes de datos; somos conscientes de la rapidez con que evolucionan y mejoran estas herramientas de proceso y análisis, por lo que, lo más importante no es saber manejar un determinado programa de proceso de imagen o de gestión de datos geográficos, sino los conceptos que subyacen y sustentan esta técnica al servicio de la geografía.

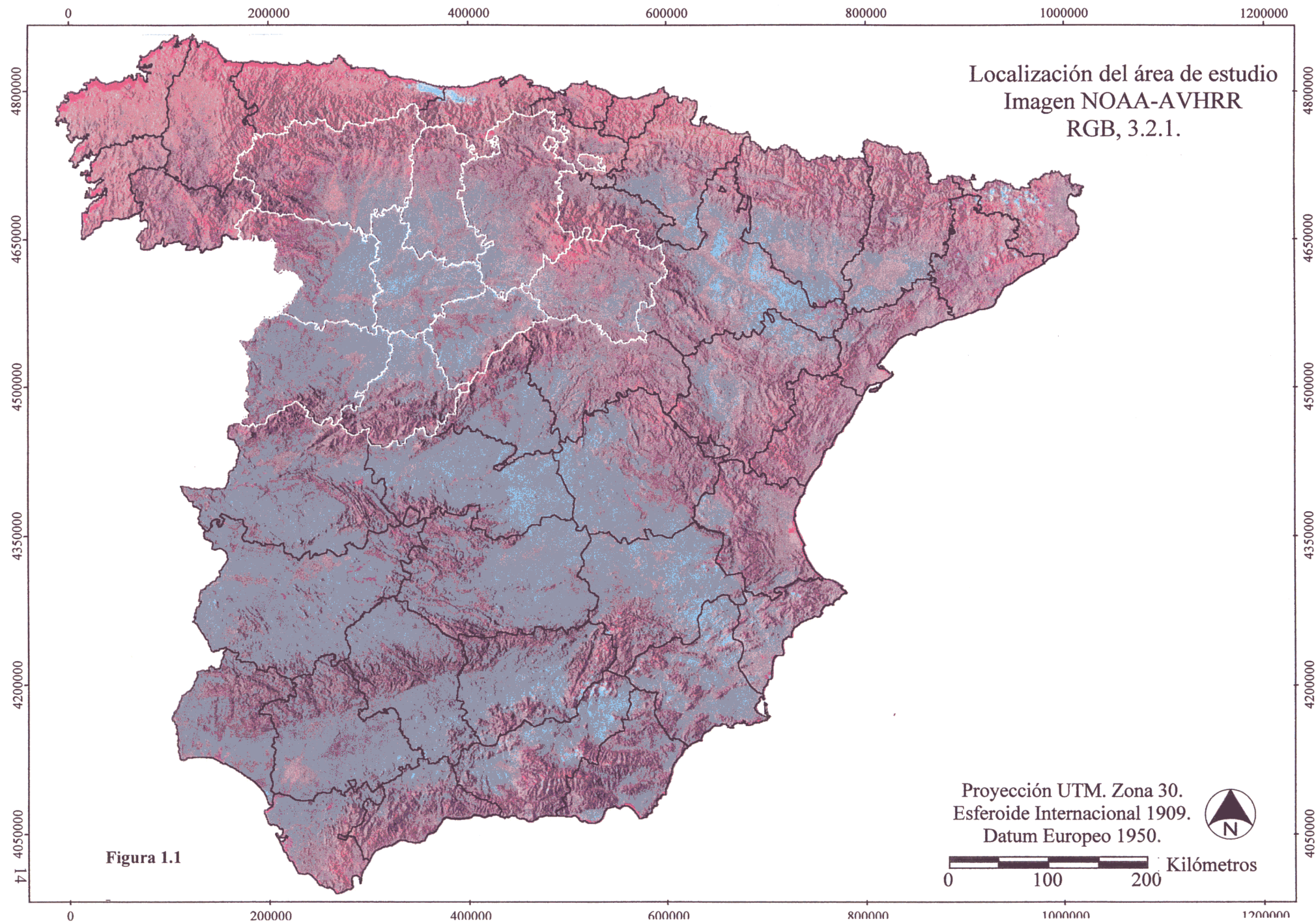
Los procesos para la consecución de los Objetivos 1 y 2 quedan cubiertos en este capítulo: la construcción de la serie NOAA87m (diaria entre 1995-97) sobre Castilla y León, la clasificación de esas imágenes según el NDVI en la serie NDVI87m de compuestos del valor máximo (MVC) mensual. Además se da cuenta del tratamiento efectuado a las imágenes Landsat TM, a la base CORINE, la BCN-200, y los MDT's.

El **Capítulo 5** lo dedicamos al **análisis** de la serie multitemporal de NDVI: los conceptos de análisis que desarrollaremos más extensamente en este capítulo son los de clasificación de imagen para el análisis espacial y el de análisis de series de Fourier para el análisis temporal.

Para el análisis espacial sobre la **serie NDVI87m**, se comprueba como mejora la **clasificación** con el aumento de mediciones hasta llegar a los 87 meses. En su momento justificaremos la razón por la cual optamos por la clasificación no supervisada, un tipo de clasificación escasamente controlado por la falta de muestras espectrales obtenidas en campo. Realizamos además una comparación entre la clasificación de la serie NDVI87m y la proporcionada por la base CORINE.

El análisis temporal de la serie NDVI87m se lleva a cabo mediante el análisis de las series discretas de Fourier para determinar la temporalidad de ciclos de ocurrencias encerrados en la serie. Se espera encontrar en la temporalidad de ciclos y ritmos de la respuesta espectral armónicos que nos hablen de eventos en el medio natural con una periodicidad imposible de detectar mediante seguimientos esporádicos. Esperamos que de la comparación de ciclos entre series espectral y climática se pueda inferir las causas que ha llevado a registrar ciclos de respuestas espectrales peculiares durante el periodo observado. Al final de este capítulo presentamos de manera sucinta los **resultados** obtenidos del análisis.

Por último, el **Capítulo 6** hace una síntesis de las conclusiones a las que hemos llegado en el curso de nuestro trabajo, no solo en lo que se refiere al análisis de datos sino también a la viabilidad de implantación total o parcial del sistema de seguimiento del medio que hemos probado a lo largo de nuestro estudio.



2000. ANÁLISIS TERRITORIAL Y APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN

2100. GÉNESIS Y CONFIGURACIÓN DE LAS UNIDADES DE RELIEVE DE CASTILLA Y LEÓN

2110. INTRODUCCIÓN

Geógrafos clásicos que han estudiado con detenimiento la génesis y evolución geográfica de la península Ibérica resaltan la singularidad fisionómica de la meseta. Casi todas las descripciones de unidades geográficas o geomorfológicas toman como núcleo central de la división la Meseta Ibérica. Fischer (1894)⁵ habla de un *Iberische Scholle* (bloque ibérico) fuertemente fracturado por acción alpina; Lapparent (1896)⁶ y, ya en nuestro siglo, Hernández-Pacheco (1911)⁷ y Dantín (1912)⁸ utilizan sistemáticamente la denominación Meseta Ibérica, aunque difieren en cuanto a los límites de la misma; Solé (1952)⁹ lleva a cabo una reinterpretación geomorfológica de la extensión de la Meseta, en la que incluye todo el solar Ibérico excepto las Cordilleras Béticas, las Costeras Catalanas, Pirineos y la Depresión del Ebro, tesis que ha mantenido a lo largo de los años (1966¹⁰ y 1978¹¹). Por contraste, Lautensach y Mayer (1961)¹² restringen de nuevo su extensión al identificar la meseta con el macizo hercínico occidental y las dos grandes depresiones terciarias, mientras que las cordilleras interiores y de borde quedarían excluidas y formarían unidades morfográficas independientes y diversas. Gutiérrez (1994)¹³ acomete una interpretación reunificadora basada en criterios morfoestructurales, que diferencia grandes conjuntos con características intrínsecas y evolutivas comunes.

El establecimiento de límites y clasificaciones conduce, por una parte, a la comprensión sintética de aspectos complejos de la realidad, mientras que por otra, la riqueza de matices queda encubierta; siendo conscientes de las posturas favorables o críticas que suscita la división del espacio castellano leonés en unidades geográficas individualizadas, en nuestro estudio hemos considerado conveniente encuadrar el

5 Fischer, T. (1894). Versuch einer Wissenschaftlichen Orographie der Iberischen Halbinsel. Petermans Mitteilungen, 249-256. Gotha.

6 Lapparent, A. de (1896). Leçons de Géographie Physique, Masson, 728 p. Paris

7 Hernández-Pacheco, E. (1911). Elementos geográfico Geológicos de la Península Ibérica. Asoc. Esp. Prog. Ciencias, V, 225-231.

8 Dantín, J. (1912). Resumen fisiográfico de la Península Ibérica. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Serie Geológica, 9, 275 p. Madrid.

9 Solé Sabarís, L. (1952). La Meseta. En: Terán, M. Geografía de España y Portugal. T. I, Geografía Física de España. Montaner y Simón. 158-328. Barcelona.

10 Solé Sabarís, L. (1966). Sobre el concepto de Meseta española y su descubrimiento. Tomo homenaje a A. Melón. Instituto de Estudios Pirenaicos. Instituto Juan Sebastián Elcano de Geografía, 14-45 Zaragoza.

11 Solé Sabarís, L. (1978). La meseta. En: Terán, M. *et al.* (Ed). Geografía General de España, Ed. Ariel, p. 42-85. Barcelona.

12 Lautensach, H. y Mayer, E. (1961). Iberische Meseta und Iberische Masse. Zeitschrift für Geomorph., 5, 161-180.

13 Gutiérrez Elorza, M., *et al.* (1994). Geomorfología de España. Ed. Rueda. Madrid.

análisis en una descripción general del medio que ayudará a entender e interpretar la evidencia aportada por la teledetección. La descripción que hacemos de las principales unidades de paisaje sigue una orientación morfoestructural.

En nuestra revisión de las formas del relieve de Castilla y León no nos ceñimos a la estructura concebida por una sola escuela o línea de análisis geográfico regional; hemos optado por criterios morfoestructurales para una revisión rápida y sintética de los grandes conjuntos de la submeseta norte pues, con Gutiérrez Elorza (1994, p. 19. *Cit. supra*) pensamos que, para un área de estudio de las dimensiones de Castilla y León, el análisis por “conjuntos morfoestructurales refleja la lucha entre los procesos endógenos y exógenos, que viene manifestada básicamente por la diferente actividad tectónica y las distintas condiciones climáticas que han afectado a la superficie terrestre a lo largo, fundamentalmente, de los tiempos cenozoicos”.

La disposición de los elementos del relieve castellano-leonés es producto, sobre todo, de los plegamientos hercinianos en la segunda mitad de la era primaria o paleozoica y de los alpinos en la era terciaria, sobre los materiales geológicos disponibles en cada momento. Como macizo herciniano, la Meseta carece de la voluminosidad del Macizo Central francés, pero ha podido conservar sus señas de identidad nítidas sobre las presiones ejercidas por los plegamientos alpinos, hecho este del que no pudieron escapar otros macizos hercinianos próximos al mar de Tetys, que quedaron totalmente dislocados e insertados en las líneas de las grandes cordilleras alpinas.

De este modo, los elementos estructurales del relieve de la Meseta pueden reducirse inicialmente a dos, teniendo en cuenta que ambas macro unidades geográficas encierran un variadísimo caleidoscopio geológico, morfológico, litológico, etc.

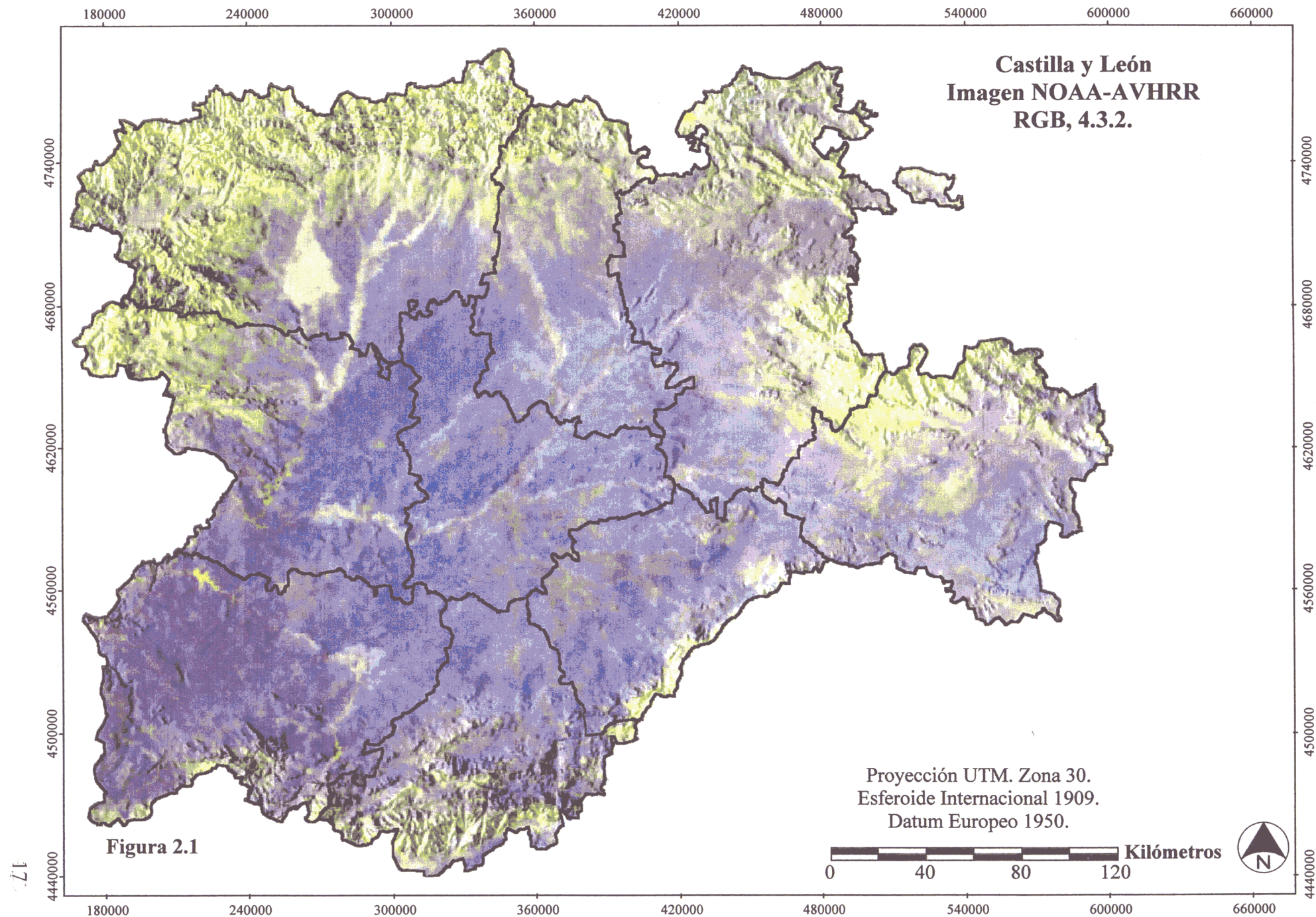
La primera unidad quedaría constituida por las **cordilleras que rodean** la depresión central, formadas **sobre el macizo hespérico septentrional** (superficies de aplanamiento occidental, montañas Galaico Leonesas, rodilla asturiana y sistema central) o por **la elevación de sedimentos mesozoicos** durante la orogenia alpina (montañas Cántabras y Burgalesas y Sistema Ibérico Soriano). Las denominaciones de este círculo montañoso son múltiples: Lautensach (1967)¹⁴ se refiere a ella como “anillo envolvente”; Floristán (1990)¹⁵ sintetiza su forma como de “cíngulo”.

La segunda unidad quedaría constituida por las planicies centrales de la **cuenca terciaria** del Duero. Las tierras llanas presentan a su vez claras distinciones y variantes morfológicas: piedemontes detríticos, páramos calizos, cuevas, campiñas, terrazas y vegas (García Rodríguez, 1993)¹⁶.

14 Lautensach, H.(1967). Geografía de España y Portugal. Barcelona. Ed. Vicens Vives. P.395.

15 Floristán Samanes, A. (1990). España país de contrastes geográficos naturales. Ed. Síntesis. Madrid.

16 García Rodríguez, M. P., (1993). Distribución de suelos en la Cuenca del Duero. Relaciones con otros factores ambientales. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. Nº 13-1993. Ed. Complutense.



Unidades de relieve de Castilla y León.	
Unidades del borde montañoso	Unidades de la cuenca central
1. Superficies de aplanamiento occidental	6. Piedemontes detríticos
2. Montañas Galaico Leonesas	7. Páramos calizos
3. Montañas Cántabras y Burgalesas	8. Cuestas
4. Sistema Ibérico Soriano	9. Campiñas
5. Sistema Central	10. Terrazas y vegas

Las unidades del relieve se intuyen fácilmente en las figuras 1.1 y 2.1, construida a partir de la imagen NOAA 14, sensor AVHRR, del 14.04.94, (RGB: 4,3,2). Corrección geométrica por parámetros orbitales, proyección UTM, pixel de 1100 m sobre el modelo digital del terreno de 200 m. Además, en la figura 2.2 reproducimos el esquema de unidades de relieve de Castilla y León de Cabero Dieguez, V. *et al.* (1996)¹⁷.

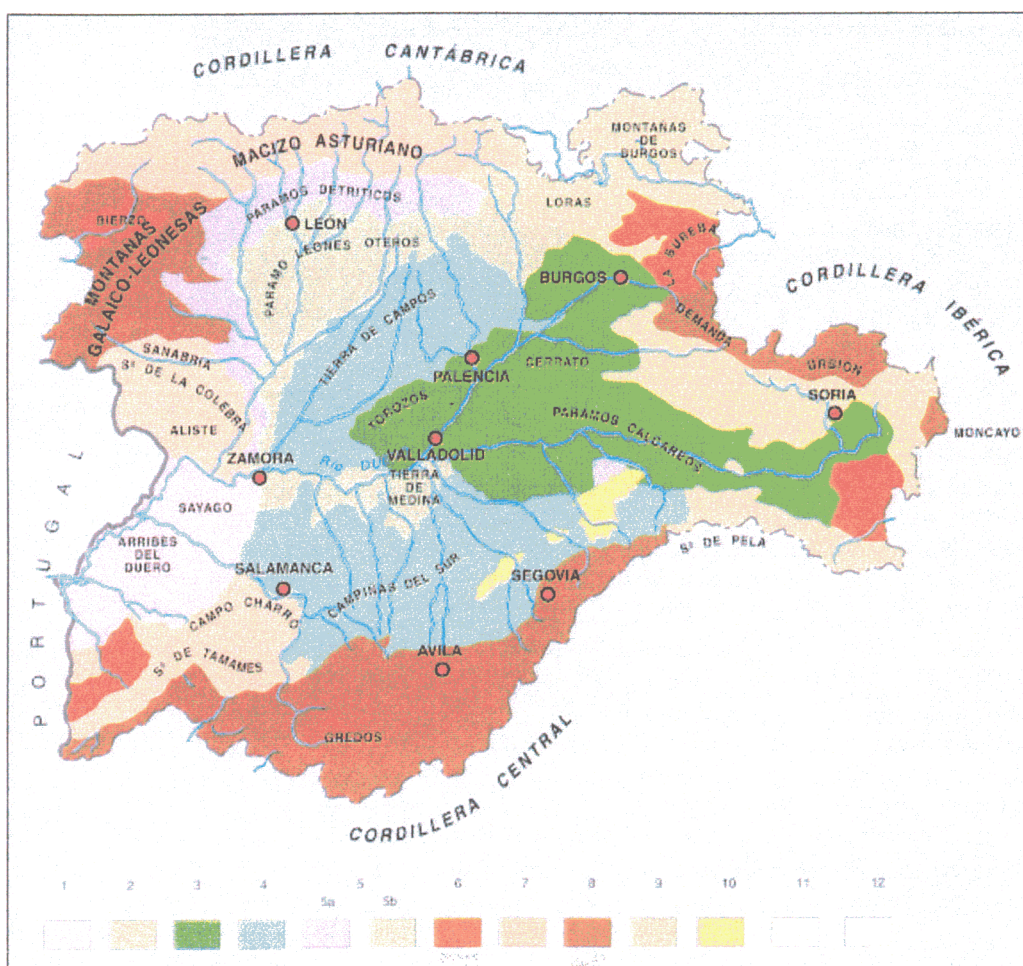


Figura 2.2 Unidades de relieve de Castilla y León. Cabero Dieguez, V., *et al.* (1996). *Cit. supra*.

Leyenda

- | | | |
|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| 1 Penillanura granítica | 5 _a Plataformas detríticas | 8 Alta montaña maciza |
| 2 Penillanura pizarrea | 5 _b Páramos detríticos | 9 Montaña media plegada |
| 3 Páramos calcáreos | 6 Cubetas relleno terciario | 10 Serrezuelas |
| 4 Campiñas arcillosas | 7 Macizo Asturiano | 11 Llanuras |
| | | 12 Montañas externas |

¹⁷ Cabero Dieguez, V., *et al.* (1996). Geografía General de Castilla y León. TII. Ed. Páramo. Madrid

Unidades de relieve de Castilla y León
 Superficies de Aplanamiento Occidental
 Imagen NOAA-AVHRR. RGB, 3.2.1.
 MDT 200 m.

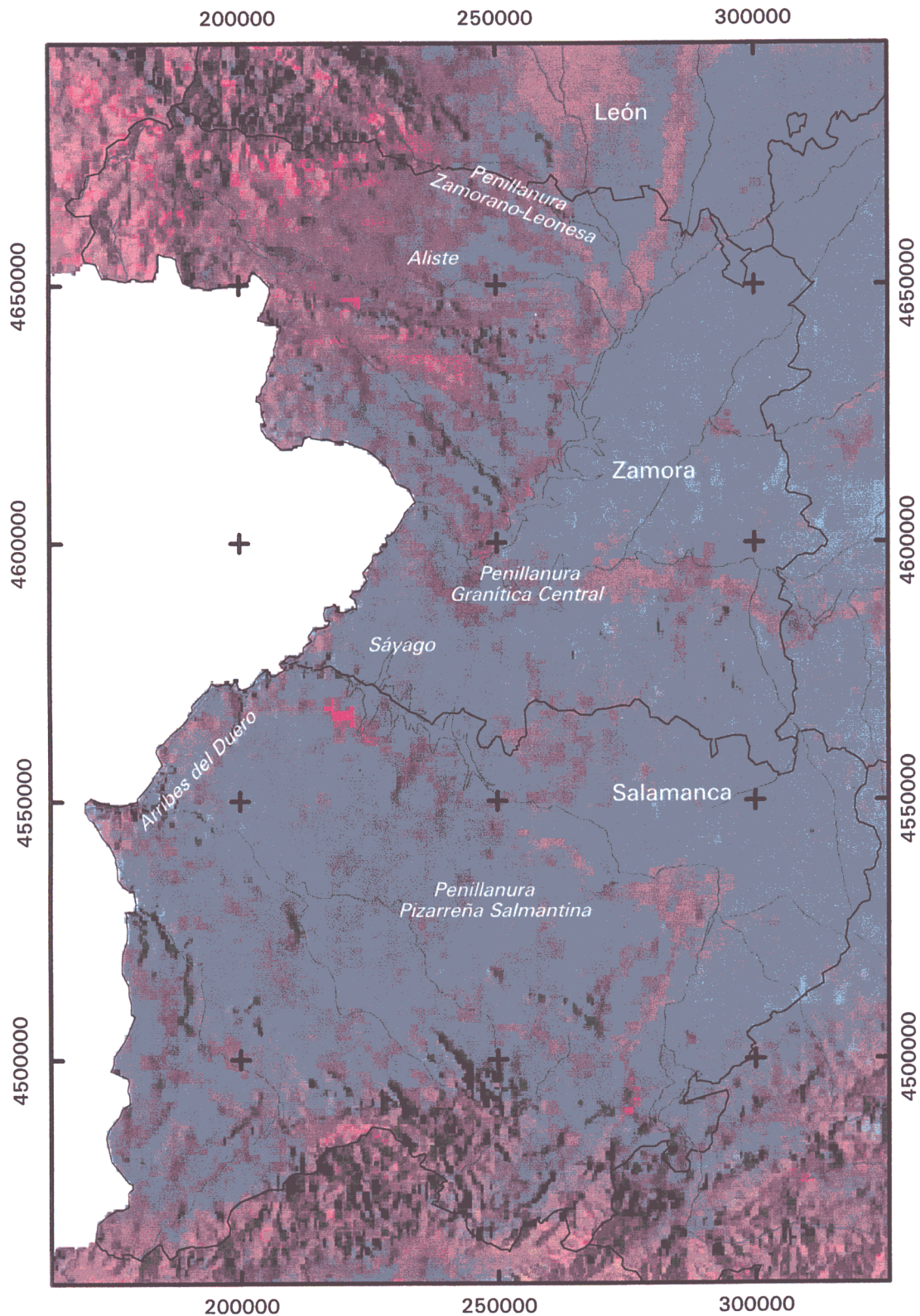


Figura 2.3

Proyección UTM. Zona 30.
 Esferoide Internacional 1909.
 Datum Europeo 1950

Escala

50000 0 Metros

2120. UNIDADES DE RELIEVE DEL BORDE

2121. SUPERFICIES DE APLANAMIENTO OCCIDENTAL

Entre el meridiano de Zamora y la frontera portuguesa y desde la Sierra de Tamames por el S hasta la de Segundera por el N, el relieve queda dominado por las llanuras de arrasamiento a lo largo de 12.000 Km², (Figura 2.3) La continuidad horizontal es un tanto relativa: el arrasamiento erosivo, incluso en rocas de composición y estructura uniforme, nunca logra formas tabulares como en estructuras de deposición horizontal.

Las penillanuras occidentales tienen origen diverso. Desde la destrucción de la Cordillera Herciniana, se suceden etapas de arrasamiento, deformación y denudación, que conducen a llanuras poligénicas complejas. La resistencia a la disección pliocuaternaria de los mantos de alteritas y las limitaciones de la red del Duero, han permitido su conservación en el relieve actual.

Estas penillanuras se corresponden con lo que Martín-Serrano (1994)¹⁸ denomina área de exhumación de viejos paleorrelieves del borde occidental de la cuenca del Duero del macizo Hespérico septentrional. El límite occidental de la meseta presenta así, una apariencia de formas modestas, en comparación con el resto de las unidades del borde. Se trata de una superficie de aplanamiento del zócalo hercínico, en la que se pueden observar los afloramientos paleozoicos. El flanco SO de la bóveda montañosa del macizo galaico duriense se inclina hacia la altiplanicie hasta hundirse bajo los sedimentos de la cubeta terciaria.

En cuanto a la altitud de las penillanuras del O, dominan tres niveles: el más vasto es el de 800 m, en el centro, mientras que el N asciende a los 900 m y los aplanamientos del S a 1000 m. Las únicas salvedades altimétricas son el profundo tajo fronterizo del Duero, que se inhiere 400 m en el terreno, y los relieves montañosos internos, que se elevan hasta los 1400 m.

Las formas concretas del relieve singularizan más las penillanuras que la altimetría. Los modelados propios son los asomos duros rodeados de berruecos graníticos, afiladas crestas pizarrosas a modo de muro entre interfluvios, valles suaves de hondas riberas alternando con otros en V. Geología y tectónica, roquedo y fallas, dividen este paleorrelieve en tres sectores bien diferenciados:

- **La penillanura granítica central**, sobre las comarcas de El Sáyago, los campos de Ledesma y Vitigudino. Es el área de intrusión del batolito paleozoico, que juega como núcleo, atravesando, comprimiendo y transformando en cristalinas las rocas sedimentaria: arcillas y areniscas derivaron en pizarras, neises, grauvacas o cuarcitas. El arrasamiento de la cordillera deja ver un afloramiento granítico macizo,

18 Martín Serrano, A. (1994). Macizo Hespérico Septentrional. En Gutiérrez Elorza, M. *et al*: Geomorfología de España. Ed. Rueda. Madrid

extenso y uniforme en sus rasgos litológicos -composición, textura, estructura y resistencia a la deformación-, resultando el tramo más bajo en el hundimiento de la cuenca, por su posición central. La morfología de penillanura es la más perfecta, estable y baja, con una altitud media de 750 m y carente tanto de rellenos sedimentarios como de pequeños relieves montañosos.

La uniformidad del roquedo, la escasez de fracturas y los procesos desintegradores del granito contribuyen a la perfección de formas llanas, sobre las que se han formado mantos arenosos muy permeables y poco sensibles al abarrancamiento, que explican la escasa densidad de valles en la red.

La topografía queda matizada por la sucesión de tres gradas en sentido E-O, con niveles de 820, 750 y 650 m, cada una de ellas progresivamente mas estrecha que la anterior. La génesis de estas gradas hay que buscarla en los sucesivos rebajes del Duero, separados por largos periodos sin vaciamiento dominados por la alteración. Así lo indica el carácter delgado, discontinuo y poco evolucionado de los mantos de alteritas en los más bajos.

La grada más oriental está ocupada por la región del Sáyago; es el sector más llano, con interfluvios aplanados y muy amplios. La morfología es muy suave, sobre mantos de alteritas gruesos y constantes. Los resaltes rocosos del granito se localizan en los interfluvios, formando los característicos “dorsos de ballena” o grandes bolas aisladas, junto a modestos lanchares en las inmediaciones de los valles.

Las gradas restantes hasta el Duero muestran morfologías más enérgicas: los mantos de alteritas son más raquíticos y discontinuos; la densidad de la red fluvial aumenta así como los asomos rocosos que, a veces, forman agrupaciones en berrocales y acumulaciones ordenadas de bloques cúbicos -tor- en las laderas.

La grada occidental, inmediata al Duero y a la frontera con Portugal, presenta una de las formas más espectaculares sobre granito en los llamados “arribes” del Duero. Los ríos Agueda, Huebra, Uces y Tormes han excavado profundas hendiduras, entre 300 y 400 m de profundidad, esculpiendo valles en V, muy angostos, de vertientes rocosas de hasta 50° de pendiente, pero con cierta convexidad en la cumbre. La disección obrada por el agua permite apreciar la estructura interna del granito con una laxa red de diaclasas rectas, dominadas por grandes diaclasas parabólicas, manifestas en los domos ojivales de Aldeadávila.

Otras dos formas del terreno características de esta penillanura son los diques de cuarzo y los enclaves no graníticos incrustados en el batolito. La exhumación del duro cuarzo atrapado en estrechas fracturas forma en la actualidad los *sierros*, a modo de espinazos rectos y afilados (ej.: Cerezal de Peñahorcada); las inclusiones no graníticas han perfilado mogotes o valles modestos en función de la dureza de su material.

- **La penillanura pizarreña Salmantina;** menos plana y más elevada (800-1000 m) que la anterior, se extiende por los campos de Argañán, Charro y Sierra de Tamames, ocupando el S y SO de Salamanca. Por el N, la penillanura queda surcada por las redes del Agueda, Huebra y Tormes, mientras que el Alagón la surca por el S. La isoaltitud de interfluvios y lechos, encajados menos de 100 m, confirma la planitud.

El roquedo metamórfico es un primer elemento de unidad de esta penillanura. Predominan las pizarras y grauvacas, comprimidas al sur del batolito, y alineadas en dirección NO-SE. Su descomposición genera gruesos mantos de alteritas con abundante arcilla rojiza; la arcilla ha desempeñado un papel doble en el modelado actual: por una parte, la impermeabilidad ha favorecido una densa red de acarcavamiento; por otra, la solifluxión ha atenuado las asperezas.

La alineación e inclinación de los materiales obligan a la red fluvial a seguir la misma dirección SE-NO, a la vez que marcan claras disimetrías en los perfiles de los valles: la vertiente suave se modela a favor de la inclinación y la abrupta perpendicular a la misma. Los interfluvios quedan marcados por asomos rocosos muy ásperos, denominadas localmente “uñas del diablo”.

La penillanura pizarreña acusa diferencias de altitud de más de 200 m, lo que conduce a pensar en un juego de fallas tardihercínicas (Martín Serrano 1994, *Cit. supra*). Encontramos dos formas locales notables derivadas de este juego de fallas: el bloque hundido de la Fosa de Ciudad Rodrigo, y los relieves montañosos internos, como la Sierra de Tamames. Ambas llevan a pensar en otras fallas más difíciles de reconocer y causantes de desniveles en la penillanura.

La Fosa de Ciudad Rodrigo es una prolongación de la cuenca del Duero, con orientación general NE-SO. Se trata de una fosa asimétrica, con un borde meridional neto, constituido por un escarpe de falla complejo, y un límite septentrional suave, difuso e irregular, en paso gradual a la penillanura Salmantina. La edad del relleno sedimentario es del paleógeno superior y del neógeno. La colmatación de esta pequeña cubeta interior es asimétrica y compartimentada en bloques, lo que contribuye a introducir formas más llanas y escalonadas que en la penillanura.

Los resaltes de la Sierra de Tamames (1000-1500 m) constituyen una doble alineación de crestas de cuarcitas sobre los flancos de un sinclinal preservadas del arrasamiento por su dureza. El desnivel entre unas crestas y otras parece efecto de fallas terciarias.

- **La penillanura Zamorano-Leonesa,** (entre las Omañas y el río Duero), que desde las cumbres de la Sierra Cabrera y Segundera (1700m) y los Montes de León dispone los materiales del Macizo en relieve apalachiano y en la más pura dirección hercínica, hasta sumergir los materiales del zócalo bajo los sedimentos de la cuenca

(700m.). Es la menor de las penillanuras del oeste, abarcando las comarcas del Aliste, Sierra de la Culebra, Carballeda y Sanabria. Posee una planitud acentuada en niveles de 800-900 m en el sur y norte, separados por la Sierra de la Culebra (1100-1300 m)

Las formaciones paleozoicas están constituidas por afloramientos graníticos de rocas plutónicas ácidas (Batolito de Sáyago en el sudoeste y Puebla de Sanabria en el noroeste). Así mismo, las formaciones metamórficas de gneis y micacitas evidencian el metamorfismo regional de sedimentos paleozoicos. De época cámbrica, afloran pórfidos. Del ordovicico-silurico hay extensos afloramientos de pizarras, grauvacas, cuarcitas, esquistos y calcoesquistos, en dirección ONO-ESE. Parece que la serie de materiales paleozoicos termina en el silúrico en esta zona. Los mantos de alteritas, sobre gneis y grauvacas, son espesos, arenosos, permeables y pobres en arcilla, lo que favorece una red hidrológica laxa con escaso acarcavamiento. La ausencia de valles encajados y la altitud modesta reducen la disección. Los interfluvios, anchos y llanos, muestran dos geoformas propias: *enlosados* sobre gneis y grauvacas y crestas y *uñas del diablo* sobre pizarras.

La Sierra de la Culebra rompe la continuidad entre las penillanuras del Aliste (S) y la Carballeda-Sanabria (N). Es un relieve de crestas paralelas de cuarcitas sobre los flancos de un haz de pliegues hercinianos, donde el biselado de las charnelas anticlinales de cuarcita exhumó sus núcleos de pizarras en bandas. Las cimas están afectadas por fallas que las desplazan y desnivelan, variando de 1.000 a 1.250 m. La disección posterior ha trabajado los valles en las bandas de pizarras -combes-, encajados 200-300 m, realzando los flancos de cuarcitas en crestas. Una génesis similar al relieve apalachense. La gelifracción sobre las cimas ha afilado las crestas, acumulando a sus pies vastos canchales.

Unidades de relieve de Castilla y León
Montañas Leonesas y Cántabras
Imagen NOAA-AVHRR. RGB, 3.2.1.
MDT 200 m.

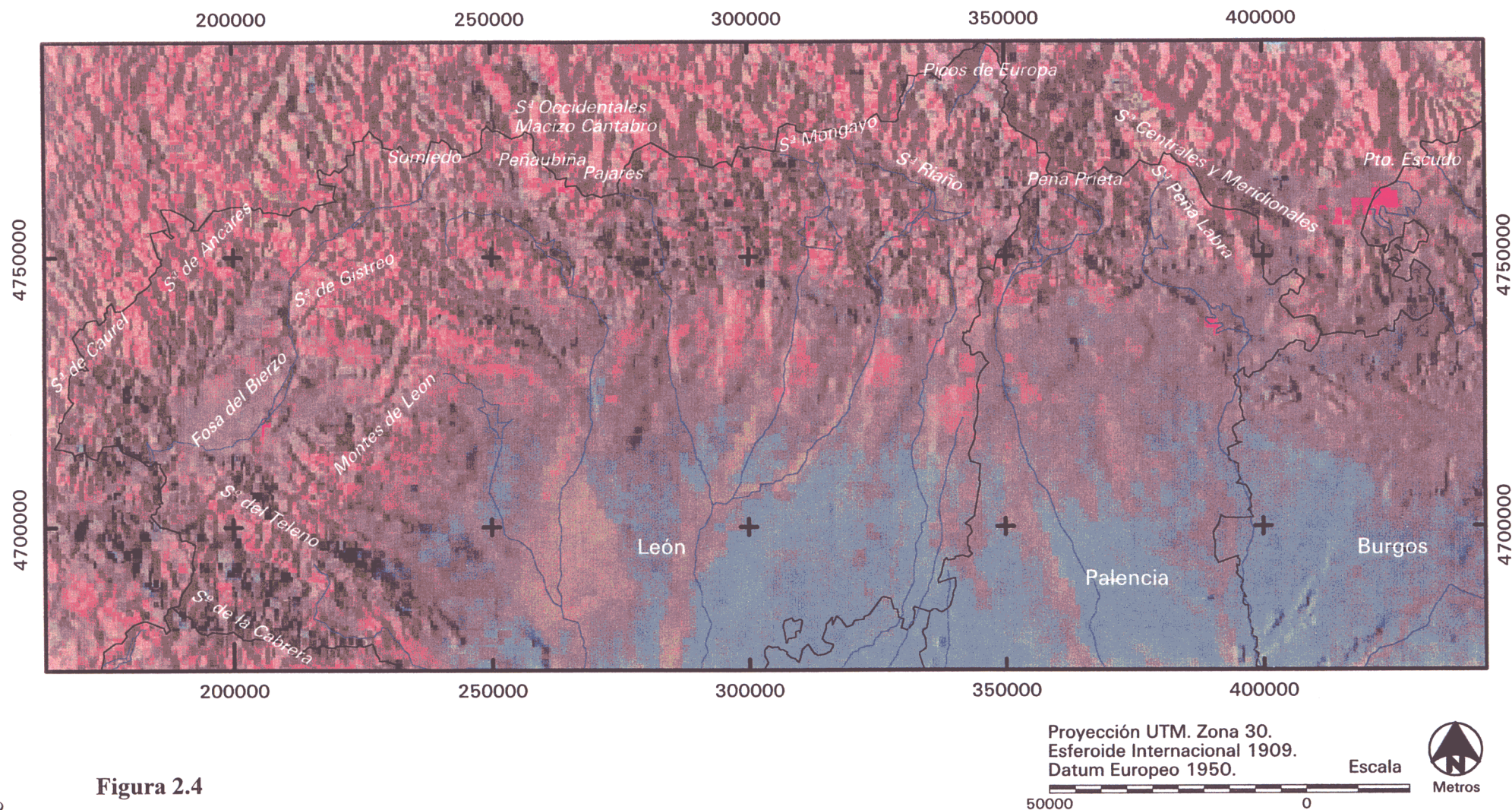


Figura 2.4

2122. MONTAÑAS GALAICO LEONESAS

Se sitúan en el extremo noroccidental de Castilla y León, sobre las comarcas de Alta Sanabria, Cabrera, Bierzo y Ancares; es un sector de montañas pesadas, enlazadas con las del E gallego. Están formadas por las elevaciones hespéricas del extremo NO de León, en la divisoria de las cuencas hídricas del Sil y del Duero. Se trata de elevaciones morfotectónicas entre 1200 y 2000 m, estructuradas en grandes bloques de falla desnivelados, cúbicos y macizos, alineados en sentido NE-SO a ambos lados del un eje axial deprimido de la Fosa de El Bierzo (Figura 2.4).

En el flanco occidental de la fosa subsidente se suceden la Sierra de Queija (Cabeza de Manzaneda, 1778m), la Sierra del Caurel (Monte Faro, 1606m) y la Sierra de Ancares (Peña Rubia, 1840m y Miravalles, 1969m). El flanco oriental alinea la Sierra Segundera (Peña Trevinca, 2040m) y los Montes de León (1200-1800m). Además, en el flanco castellano se suceden una serie de sierras de rango inferior, superpuestas a la dirección hercínica subyacente, pero muy bien definidas: Sierra de Gistreo, Montes Aquilianos y Sierra de la Cabrera.

La Fosa del Bierzo, así como otras cuencas satélites menores, ocupa la zona axial de la bóveda hercínica galaico leonesa; las fracturas han hecho de la charnela un bloque hundido, que sirve de canal de drenaje del Sil. La Fosa del Bierzo está formada por dos cubetas principales: al oeste la de Ponferrada-Villafranca, más amplia y dividida en cuatro sectores morfológicos diferenciales; al este, la de Bembibre, más homogénea, con plataformas escalonadas sobre terrazas y glaciares. Ambas cubetas quedan quedas individualizadas por una cresta de relleno aluvial terciario. El proceso sedimentario y de colmatación de la Fosa es particularmente interesante, al tratarse de un área que por tectónica queda aislado de los grandes procesos de la cuenca del Duero; Herail (1984)¹⁹, hace un detallado desglose de la secuencia sedimentaria de la fosa. Además, un cinturón de cubetas secundarias rodea a las anteriores (Alto Bierzo), encajadas en esquistos y cuarcitas, a mayor altitud (800-1000m).

El interés morfotectónico de la Fosa del Bierzo estriba en el resultado evolutivo aislado que han tenido las formas antiguas heredadas en el eje de la bóveda del macizo, la frágil deformación Alpina y la secuencia de sedimentación y relleno de la Fosa en un ambiente fluvio lacustre. Los bloques se deformaron durante una fase tectónica de hundimiento, responsable del hundimiento y evolución de la cuenca, independientemente de la gran fosa terciaria adyacente del Duero. A lo largo del transecto longitudinal de la Fosa, el paisaje se suaviza de N a S, desde las fallas activas a los relieves apalachianos del Caurel, Sierra del Eje y Montes Aquilianos. La subsidencia de la cuenca termina con la paralización de dislocaciones y la fosilización

¹⁹ Herail, G (1984). Géomorphologie et Géologie de l'or détritique. Piémonts et bassins intramontagneux du Nord-Ouest de l'Espagne. CNRS. Centre Regional de Publications de Toulouse. 465p. Paris.

de los escarpes por sedimentos más modernos, la formación de las Médulas - conglomerado de cantos silíceos ligados por duras arcillas, objeto de la explotación aurífera en época romana- y las rañas.

La morfogénesis actual está marcada por el modelado y disección fluvial: es disimétrica y más activa en la parte castellana de la bóveda hercínica. La modelación glaciaria, muy detallada en el estudio de Llopis y Fontbote (1959)²⁰ sobre la Cabrera Alta, da lugar en esta zona a superficies de arrasamiento exentas de grandes acumulaciones. En la fachada castellana, el glaciario está muy bien representado en las Sierras Segundera, Cabrera y Teleno, con circos y nichos de nivación entre los 1500-1600 m en las vertientes Septentrionales. Las morrenas han quedado enmascaradas por coluviones, cubetas de sobreescavación, umbrales marcados por las barras cuarcíticas y formas de solifluxión.

2123. MONTAÑAS CÁNTABRAS Y BURGALÉSAS

La submeseta norte se encuentra cerrada y dominada en su segmento norte por la Cordillera Cantábrica. Geológicamente es un gran bloque elevado del antiguo Macizo Hespérico, en su prolongación occidental hacia el sector de los Pirineos. Su elevación y estructura alpina son resultado de la convergencia de la Placa Ibérica con la Euroasiática y la subducción del Golfo de Vizcaya bajo la primera, obligando a plegarse al zócalo y a la cobertera sedimentaria mesozoica. La arquitectura de formas estructurales y geológica de esta unidad ha planteado numerosas hipótesis complementarias sobre su origen, evolución y accidentes constructores determinantes, como son las de Boillot y Malod (1988)²¹ y la de Bertrand y Bertrand (1984)²².

La Cordillera Cantábrica enlaza con el macizo hespérico galaico por occidente, y con los Pirineos por el este. “Por el roquedo paleozoico, la Cordillera Cantábrica está unida íntimamente al viejo bloque galaico; por el roquedo mesozoico y terciario, enlaza con los territorios más modernos situados hacia el este: los Pirineos Vascos y la Cordillera Ibérica” (Solé y Llopis, 1952, p. 290)²³.

Esta unidad estructural está diferenciada por diversos sectores geológicos: las series estratigráficas paleozoicas se enriquecen y completan de O a E: a los materiales cámbricos y silúricos, la Cordillera Cantábrica añade potentes formaciones devónicas y

20 Llopis, N. y Fontbote, J.M. (1959). Estudio Geológico de la Cabrera Alta. *Breviora. Geol. Asturica*. 4, 8-57. Oviedo

21 Boillot, G., Malod, J. (1988). The North and North-West Spanish continental margin: a review. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, 295-316. Madrid.

22 Bertrand, C., Bertrand, G. (1984). Des rañas aux rasas: remarques sur le système montagne-piémont de la Cordillère Cantabrique Central, Espagne du nord-ouest. *Montagnes et piémonts. Revue. Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 247-260. Toulouse.

23 Solé, L., Llopis, N. (1952). Geografía física de España. En: Terán, M. Geografía de España y Portugal. T. I, Geografía Física de España. Montaner y Simón. p. 290. Barcelona.

carboníferas. Más hacia el Este, desde Santander, aflora el mesozoico, dislocado por las presiones Alpinas.

Atendiendo a los intereses particulares de nuestro estudio, nos limitamos a describir dos sectores, que demarcan el borde N y NE de Castilla y León (Figura 2.4 y 2.5):

1. Sector Cántabro Astúrico,
 - a) Sierras Occidentales del Macizo Cantábrico
 - b) Sierras Centrales y Meridionales
 - c) Picos de Europa
2. Sector Periaistórico,
 - d) Montañas de Burgos

2123 a) Sierras Occidentales del Macizo Cantábrico

Las Sierras Occidentales del Macizo Cantábrico ocupan el occidente Asturiano desde las Rías del Eo y Navia en la costa hasta las elevaciones del N de León (Figura 2.4). Además del ascenso altimétrico desde la costa hacia el interior, los macizos montañosos acusan un cambio de dirección: en el N, junto a la Costa, la orientación es hercínica (NE-SO), mientras que en el S, ya en la provincia de León, siguen una dirección E-O.

En nuestra área de estudio, este sector de la Cordillera Cantábrica parece una prolongación en sentido E del robusto macizo galaico leonés, a través de los macizos de Peña Rubia y Peña Ubiña (2417 m) y el Puerto de Pajares (1364 m). Más al E, el Puerto enlaza con una línea de cordales y cumbres, entorno a los 2000m., denominadas Brañas, que sirven de unión con las elevaciones calizas de Picos de Europa: Peña Santa (2586m), Peña Vieja (2615m), Peña Cerredo (2672m) y Naranjo de Bulnes (2518m). Intercaladas entre estas elevaciones, se conservan superficies de erosión entre los 600 y 800m, correlacionadas con la superficie de erosión de la meseta por Birot y Solé, (1954)²⁴.

2123 b) Sierras Centrales y Meridionales

Estas Sierras, adyacentes a la unidad anterior por el Este, forman un bloque muy compacto y de mayor altura, marcando con más nitidez, si cabe, el cambio de dirección de las formaciones, en la denominada Rodilla Astúrica. El sector castellano de estas elevaciones presenta un relieve diferencial cuyos substratos más resistentes están formados por calizas devónicas y carboníferas y cuarcitas silúricas. El paisaje es apalachiano o pseudo-apalachiano, especialmente nítido en dirección a la Cuenca del Duero, con valles subsecuentes de dirección E-O. El límite castellano de la cordillera queda nítidamente delimitado por la divisoria de cuencas marcada por las altas cumbres: Peña Prieta (2536m), Mampodre (2190m), Corisco (2234m), Sierra del Brezo (1980m), Peña Corada (1822m).

2123 c) Picos de Europa

Constituyen un potente macizo calcáreo de edad devónica, muy karstificado y perfilado por el glacialismo, elevado entre las depresiones del Cares y la Liébana. Este último, es un conjunto quebrado que pone fin al sector paleozoico Cántabro, en los límites de la Sierra del Cordel y Peña Labra (1218m), al tiempo que establece la divisoria de aguas Cantábricas y Mediterráneas. En cuanto a la geología de los Picos, la tectónica y la erosión diferencial enfrentan la resistencia de las masas calizas con la naturaleza más endeble de pizarras y areniscas.

2123 d) Montañas de Burgos

El macizo hercínico asturiano se hunde hacia el E a través de varios anticlinales vergentes (Ugarte, 1994)²⁵; por el N transcurre la rama santanderina o dorsal cántabra; al S, las ramas castellanas, compuestas por un espeso manto permo-triásico de orientación NO-SE, que les dan aspecto de pesadas bóvedas. Esta formación pierde su identidad por el hundimiento progresivo bajo el cretácico superior del dominio navarro-alavés-cántabro (Feville y Rat, 1991)²⁶.

La estructura de las Montañas de Burgos, según Ortega Valcarcel (1974)²⁷, se caracteriza por grandes formas monoclinales y paisajes de cuesta sobre calizas del turoniense santoniense (Hazera, 1968)²⁸, en cuyo frente se encuentran las depresiones ortoclinales del Valle de Mena, favorecida por el afloramiento diapírico, y la de Espinosa de los Monteros, en la cabecera de los ríos Trueba, Trema y Nela. Otra depresión a destacar en dorso de cuesta es Valle de Losa, en el que sobresalen el Pico del Corral (930m) y el de Guarda (958m) como frentes de cuesta. La acción del hielo y el encajamiento de la red hídrica han dejado también restos morrénicos, encajadas hoces y aperturas cataclinales.

24 Birot, P., Solé, L. (1954). Recherches morphologiques dans le Nord-Ouest de la Peninsule Iberique. Men. Et Doc. du CNRS, 4, 9-61. Paris.

25 Ugarte, F.M. (1994). Montes Vasco Cantábricos. Gutiérrez Elorza, M. *et al*: Geomorfología de España. p. 242. Ed. Rueda. Madrid

26 Feville, P., Rat, P. (1971). Structures et paléo-géographies Pyrénéo-Cantabriques. En: Histoire structurale du Golfe de Gascogne, t. 2., v. 1., 1-48. Editions Technip. Paris

27 Ortega Valcarcel, J. (1974). La transformación de un espacio rural. Las montañas de Burgos. Tesis. Universidad de Valladolid. 531 p.

28 Hazera, J. (1968). La región de Bilbao et son Arriere pays. Munibe, XX. 1-354. San Sebastián.

Unidades de relieve de Castilla y León
Montañas de Burgos e Ibérico Sorianas
Imagen NOAA-AVHRR. RGB, 3.2.1.
MDT 200 m.

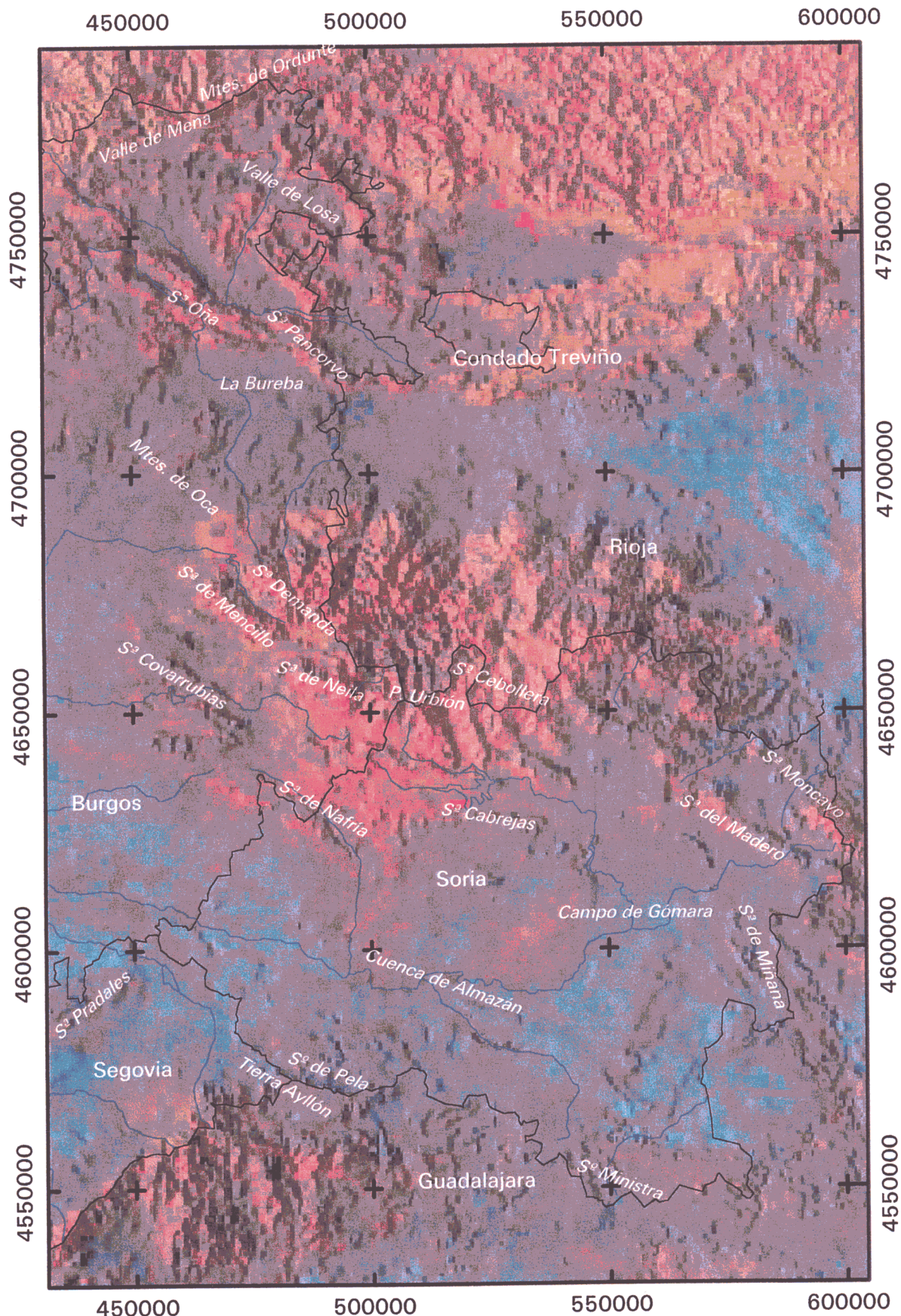


Figura 2.5

Proyección UTM. Zona 30.
Esferoide Internacional 1909.
Datum Europeo 1950.

Escala

50000



Metros
n 29

2124. SISTEMA IBÉRICO SORIANO

Los límites E y NE de Castilla y León quedan delimitados por la Cordillera Ibérica en su sector Soriano y Riojano (Figura 2.5). Siguiendo la subdivisión de la Ibérica realizada por Gutiérrez Elorza y Peña Monné (1994)²⁹, los sectores de la Ibérica que forman parte de la submeseta norte son:

- a) el ángulo noroccidental de la Cordillera Ibérica, lindante por el sur con la Cuenca de Almazán.
- b) el enlace de la Ibérica con el Sistema Central por la sierra de Ayllón.

En cuanto a la geología, aunque en el conjunto Ibérico predominan los materiales mesozoicos y terciarios, en nuestra área de estudio afloran series precámbricas y paleozoicas

2124 a) Sierras noroccidentales de la Cordillera Ibérica

Las alineaciones septentrionales de estas sierras corresponden a la vertiente del Ebro (Sierras de la Demanda y Cameros), mientras que las occidentales y meridionales pertenecen al conjunto del Duero (Urbión 1223m; Cebollera 2142m; Peñas de Cervera, sierra de Cabrejas, sierra de Carazo, sierras de Urguilla, Montes Claros, Sierra del Rodadero y El Almuerzo).

En cuanto a la geología, la disposición de las series evoluciona desde el paleozoico de la Demanda, rodeado de sedimentos mesozoicos: triásicos, jurásicos, y grandes extensiones cretácicas. Las series más occidentales de la Sierra de la Demanda afloran también al E de Burgos, dejando ver pizarras precámbricas; conglomerados, areniscas y dolomías cámbricas; areniscas ordovícicas y turbas carboníferas. La dirección dominante de estos materiales hercínicos es E-O.

Las series mesozoicas son de una gran potencia: los sedimentos se depositaron en medios marinos y deltáicos y encierran una gran variedad litológica. Las estructuras del cretácico superior (Sierra del Carazo y Montes de Cervera) aparecen arrasados por la superficie de erosión fundamental intramiocena de la Cordillera Ibérica; en los alrededores de Soria se reconoce esta superficie de erosión en lo que se ha denominado *plataforma de Soria* (Solé, 1952)³⁰. La modelización kárstica ha sido importante en los terrenos cretácicos, dando lugar a depresiones kársticas, endokarst y travertinos (Sanz, 1990)³¹.

29 Gutiérrez Elorza, M., Peña Monné, J.L. (1994). Cordillera Ibérica. En Gutiérrez Elorza, M., *et al*: Geomorfología de España. Ed. Rueda. Madrid. pp. 251-285.

30 Solé Sabarís, L. (1952). La Meseta. En: Terán, M. Geografía de España y Portugal. T. I, Geografía Física de España. Montaner y Simón. 158-328. Barcelona

31 Sanz, E. (1990). El karst de la altimeseta soriana. I Reunión Nacional de Geomorfología. 147-158. Teruel.

Del mismo modo, los relieves glaciares y periglaciares ligados a fases frías cuaternarias han dejado en esta zona abundantes vestigios, tal y como atestiguan Thornes (1968)³² para los Picos de Urbión, y Saenz, *et al.* (1979)³³ y Ortigosa (1986)³⁴ para la Sierra Cebollera. Todas estas elevaciones Ibéricas, ubicadas en el tercio norte de la provincia de Soria enlazan con la depresión central miocena (Almazán) a través de un conjunto de sierras secundarias cretácicas: Nafría, Cabrejas y San Marcos.

2124 b) Sector Ibérico central de enlace

El Sector Ibérico central de enlace con el Sistema Central corresponde con las elevaciones meridionales de la provincia de Soria. Las series geológicas de este sector son mesozoicas (triásicas, jurásicas y liásicas), alternando litologías de margas, calizas, areniscas y conglomerados.

La entidad topográfica de este sector de borde es menor que las elevaciones Ibéricas del norte: por el contrario, la complejidad geomorfológica es notable: las series mesozoicas aparecen notablemente plegadas, con abundantes fallas que han canalizado la erosión y el encajamiento de la red hídrica. Orográficamente, las alineaciones siguen la dirección Ibérica NO-SE: Sierras de Pela (1474m) en el enlace y tránsito al Sistema Central, Altos de Arahona y Sierra Ministra (1310m).

La característica más sobresaliente de esta unidad a juicio de G. Elorza y Peña (1994 *Cit. supra*, p. 266) “es el gran desarrollo que presentan las superficies de erosión neógenas, de las que resaltan relieves residuales Al NO del sector se observa un escalonamiento de superficies... las edades de estos aplanamientos son intramiocena, finimiocena, pliocena y pliocuaternaria”. Dada la naturaleza caliza de los materiales jurásicos, y cretácicos, son abundantes las morfologías de retoque kárstica, en las que los procesos de disolución se vieron favorecidos por la topografía plana finimiocena.

2125. SISTEMA CENTRAL

Las elevaciones del Sistema Central individualizan Castilla y León por el SE y S, desde Somosierra y Ayllón en el E hasta las Sierras de Gata y Peña de Francia en el O, pasando por Guadarrama y Gredos. Constituyen alineaciones de horst y grabens regidos por las direcciones de fallas del zócalo hercínico (Figura 2.6)

32 Thornes, J. (1968). Glacial and periglacial features in the Urbión Mountains, Spain. *Estudios Geol.*, XXIV, 249-258. Madrid.

33 Saenz, C., Arenillas, M., Barbazán, J.M., Pozo, E., Calvo, J.A., (1979). La morfología glaciar en la Sierra Cebollera. 1ª Reunión sobre la geología de la Cuenca del Duero. *Temas Geológico Mineros*, VI. 589-604. IGME. Madrid.

34 Ortigosa, L. (1986). Geomorfología glaciar de la Sierra Cebollera (Sistema Ibérico). *Inst. Est. Riojanos*. 77 p. Logroño.

A pesar de que la *gran divisoria castellana* (Schwenzer, 1937)³⁵ no sea más que una alineación orográfica modesta, Pedriza (1994, p.63) resalta su destacado significado geográfico ya que “actúa verdadero regulador climático y ecológico, e incluso social, entre ambas mesetas; sobre todo en los tramos de contacto entre montaña y llanuras. Variaciones térmicas, de humedad e insolación, barreras ecológicas y agronómicas, límite de usos, etc.”. El carácter diferenciado del Sistema Central es, además, interno, en el sentido de las acusadas diferencias entre las vertientes N y S.

Por su génesis geológica, el Sistema Central pertenece al macizo hespérico, lo que determina la naturaleza y características de sus afloramientos. Materiales cámbricos y precámbricos, tectónica hercínica, metamorfismo, magnetismo y la evolución reciente determinan tres ámbitos fisiográficos singularizados:

- a) El sector oriental, que comprende las Sierras de Somosierra y Ayllón.
- b) El sector central, con las Sierras de Gredos y Guadarrama, en el que dominan materiales preordovícicos: plutónicos hacia occidente, cristalinos en el centro y metamórficos en el sector oriental.
- c) El sector occidental, que agrupa las sierras de Gata y Peña de Francia.

En ambos sectores de borde, hay escasos afloramientos plutónicos, disminuyen las rocas cristalinas y las metamórficas han sufrido menor grado de transformación que en el sector central. El tipo de materiales según sus edades puede resumirse en:

- Materiales preordovícicos: gneis glandulares tipo Morcuera, Ollo de Sapo, etc., y esquistos grauwáticos (Fernández Casals, 1974³⁶, 1985³⁷; Bea, 1985³⁸; Vegas *et al.* 1977³⁹).
- Series ordovícico devónicas, según Gutiérrez Marco (1985)⁴⁰: cuarcitas, pizarras y areniscas en alternancia; peleitas carbonatadas; areniscas y pizarras cuarcíticas de tránsito entre el silúrico y el devónico; series pelíticas y pizarrosas carbonatadas del devónico.

35 Schwenzer, S. (1937). Zür Morphologie des Zentral Spanischen hochlandes. Geogr. Abhandl., 3ª Ser., X (3), 128p. Resumen en castellano publicado en el Bol. Real Soc. Española de Hist. Nat., XIV de 1943, 121-147.

36 Fernández Casals, M. J., (1974). Significado geotectónico de la formación neises de la Morcuera. *Studia Geol. Salmant.*, 7, 87-106.

37 Fernández Casals, M. J., (1985). Aspectos estratigráficos de la Cadena Hercínica en el Sistema Central: Los materiales preordovícicos. *Rev. de la Real Acad. de Cien. Exac. Fis. y Nat. de Madrid*, LXXIX (4'), 488-494 y 505-509.

38 Bea, F., (1985). Los granitoides hercínicos de la mitad occidental del batolito de Avila (sector de Gredos). Aproximación mediante el concepto de superficies. *Rev. de la Real Acad. de Cien. Exac., Fis. y Nat. de Madrid*, LXXIX (4'), 549-572.

39 Vegas, R., Roiz, M., Moreno, F. (1977). Significado del complejo esquistos-grauwáquico en relación con otras series "pre-Arenig" de España central. *Studia Geol. Salmant.*, Xii, 207-215.

40 Gutiérrez Marco, J. C., (1985). Aspectos estratigráficos de la Cadena Hercínica en el Sistema Central: La sucesión Ordovícico- Devónico. *Rev. de la Real Acad. de CC. Exac. Fis. y Nat. de Madrid*, LXXIX (4), 494-509.

- Materiales del carbonífero-pérmico: según la aproximación cronológica establecida por Serrano Pinto, *et al.* (1988)⁴¹, a esta época corresponden los materiales plutónicos, sin que este aspecto esté definitivamente resuelto por falta de datos. Fuster y Villaseca (1988)⁴² ofrecen una cartografía de los distintos grupos plutónicos hercínicos y tardihercínicos del Sistema Central.
- Los materiales mesozoicos son en su mayoría de edad cretácica, y forman la cobertera sedimentaria de las depresiones internas (grabens) y de los bordes del macizo. Según Alonso y Mas (1982)⁴³, las series sedimentarias se acumulan en dos ciclos de sedimentación. Al cenozoico corresponden los materiales de relleno de las fosas del Duero y Tajo, y que en el Sistema central presentan facies correlacionables en las depresiones internas.
- La transición del cretácico al terciario se sitúa en las series denominadas paleógenas de conglomerados, areniscas, margas y yesos. Estudios más recientes (Molina *et al.* 1989)⁴⁴ establecen dos momentos diferenciados de sedimentación: uno corresponde al cretácico terminal y eoceno basal; el otro se sitúa en el paleógeno.

La historia tectónica del Sistema Central es larga y compleja; los movimientos prehercínicos y hercínicos se desarrollaron hasta el devónico superior, aunque diversos estudios difieren en cuanto al número de fases (Díez Balda, 1980⁴⁵, Capote, 1985⁴⁶). A estos movimientos se asocian el metamorfismo regional, intrusiones graníticas y movimientos de desgarre.

Las tectónicas tardihercínica, carbonífera y triásica dan lugar a las líneas principales de rotura del zócalo: N-S, E-O, NNE-SSO, NE-SO. La tectónica alpina reactiva todo el Sistema Central; esta afirmación es unánime, aunque los procesos difieren: hasta 1970 se habla de una elevación de la sierra en fases miliares (Solé, 1952, *Cit. supra*); Pedraza (1978)⁴⁷ mantiene la tesis de una dinámica continua con un paroxismo final generador de bloques. En general, todas las posturas admiten una primera presión deformadora que alza el macizo y hunde las cuencas; esas tendencias se mantienen con presiones

41 Serrano Pinto, M., Casquet, C., Ibarrola, E., Corretge, L.G., Portugal Ferreira, M. (1988). Síntesis geocronológica das granitoides do Macilo Hespérico. En BEA *et al.* (Ed.). *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*. Edit. Rueda, p. 68-86, Madrid. Serrat, D. (1974). Nuevos datos sobre glaciario en el Pirineo Oriental. *Trab. del Neógeno-Cuaternario*, 2, 175-180.

42 Fuster, J. M., Villaseca, C. (1988). El complejo plutónico hercínico-tardihercínico del Sistema Central Español. En BEA, F. *et al.* (Ed.). *Geología de los granitoides y rocas asociadas del Macizo Hespérico*, Edit. Rueda, p. 27-35, Madrid.

43 Alonso, A., Mas, J. R. (1982). Correlación y evolución paleogeográfica del Cretácico al Norte y al Sur del Sistema Central. *Cuad. de Geol. Ibérica*, 8, 145-166.

44 Molina, E., Vicente, A., Cantano, M., Martín Serrano, A. (1989). Importancia e implicaciones de las paleoalteraciones y de los sedimentos siderolíticos del paso Mesozoico-Terciario, en el borde Suroeste de la cuenca del Duero y Macizo Hercínico Ibérico. *Stu. Geol. Salmant.*, 5, 177-186.

45 Díez Balda, M. A. (1980). La sucesión estratigráfica del complejo esquisto-grauváquico al sur de Salamanca. *Estu. Geológicos*, 36, 131-138.

46 Capote, R. (1985). Historia deformativa en el Sistema Central. Tectónica Prehercínica y Hercínica. *Rev. de la Real Acad. de Ciencias Exac. Fís. y Natu. de Madrid*, LXXIX (4), 511-522.

47 Pedraza, J. (1978). *Estudio geomorfológico de la zona de enlace entre las sierras de Gredos y Guadarrama (Sistema Central Español)*. Tesis Doctoral, Fac. de Geología, UCM, 459 p. (Inédita).

continuadas hasta llegar a presiones finales que producen subsidencias locales y reajustes entre las fosas y las depresiones interiores.

Respecto a las formas del relieve de cada una de las sierras del Sistema central, seguiremos el esquema más habitual, E-O, resaltando las formas que miran a la depresión del Duero y obviando intencionadamente las formas del sistema que enlazan con la submeseta sur.

2125 a) Sector Oriental: Somosierra-Ayllón.

De E a O, esta unidad transcurre desde los relieves mesozoicos que bordean los núcleos de Ayllón-Alto Rey-La Bodega y que contactan con la Ibérica, hasta la falla de La Berzosa por el O, donde se inicia el área cristalina de Guadarrama. “La morfoestructura de este sector la definen un conjunto de bloques en cuña basculados hacia el S y organizados según una directriz principal NE-SO” (Pedraza, 1994, p.74)⁴⁸. La transición de este sector con la depresión del Duero es de gran “simplicidad orográfica pues piedemontes y superficie de cumbres quedan articuladas mediante un escarpe o ladera sencilla bastante rectilínea que se enfrenta directamente a las planicies de la cuenca” (Pedraza, 1994. *Cit. supra*).

Los cursos hídricos del Vadillo, Riaza y Duratón transcurren a lo largo de prolongados encajamientos en las laderas septentrionales y forman abanicos de piedemonte con depósitos de tipo raña en su curso hacia la depresión.

El modelado glaciar solo se deja notar en las cumbres de Somosierra (Glaciar de Circo de Cebollera y Pico Lobo), además de otras formas incipientes tales como nichos de nivación.

2125 b) Sector Central: Guadarrama y Gredos

Según Pedraza (1994, *Cit. supra*, p. 77), la sierra de Guadarrama transcurre desde la depresión de Buitrago (E) hasta las de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros, aunque otros autores discrepan en cuanto al límite O de este sector (Carandell, 1914⁴⁹, Vidal Box, 1937⁵⁰). La fisonomía del conjunto es una sucesión de horst y grabens que pierde nitidez y regularidad hacia el O. de E a O se suceden los Montes Carpetanos, Cuerda Larga, llanos de la Morcuera y sierra del Hoyo de Manzanares-Cerro de San Pedro, separados por los grabens del Alto Lozoya, Buitrago de Lozoya y Manzanares el Real-Guadalix.

48 Pedraza, J. (1994). El periglaciario del Sistema Central Español. En Gómez Ortiz, A. *et al.* (Edit.). *El periglaciario de la Península ibérica, las islas Baleares y Canarias*, Monografías, SEG y Geoforma (en edición).

49 Carandell, J. (1914). Las calizas cristalinas del Guadarrama. *Publi. Junta Amplia. Estud. e Investi. Cient. Trab. Mus. Nac. Cien. Nat.*, 8, 69 p.

50 Vidal Box, C. (1937). Ensayo sobre la interpretación morfológica y tectónica de la Cordillera Central en el segmento comprendido en la provincia de Avila. *Bol. Real. Soc. Española de Hist. Nat.*, XXXVII (1-6), 79-106.

Las alineaciones de horst y grabens se hacen sumamente irregulares en la transición a la Sierra de Gredos, interfiriendo bloques subsidiarios en el bloque directriz, generando fisonomías en teclas. Las unidades fisiográficas de esta sección pueden resumirse en:

1. Las alineaciones directrices (horst) de las superficies de cumbres, con sus respectivas parameras y laderas. Los bloques elevados son, de E a O, los Montes Carpetanos, Sierra de la Cuerda Larga, Siete Picos-Sierra de Quintanar, Sierra de Malagón y Abantos. Las parameras septentrionales de estos horst son: La Morcuera-Sierra de la Cabrera y cerro de San Pedro que, en conjunto, están menos desarrolladas que las parameras meridionales.
2. Los piedemontes, rampas y depresiones: también ocupan mayor extensión en la vertiente S, a la par que han sido más trabajados por la red hídrica. Hacia la Depresión del Duero, se encuentra la rampa de Segovia, la rampa-depresión de Prádena y las depresiones del alto Eresma y alto Moros.
3. Las morfoestructuras de borde del sector de Guadarrama que hacen de puente entre los piedemontes y la depresión del Duero; de NE a SO son: la depresión de Prádena-Pedraza, la sierra de Ojos Albos, la fosa de Campo de Azalvaro y la paramera de Ávila.

El modelado fluvial de este sector esta marcado por la acción de los ríos Duratón, Cega, Pirón, Eresma y Moros, que desde las cumbres de los horst buscan las aguas del Duero. El perfil longitudinal es muy irregular y torrencial, prueba de los bruscos vacíos topográficos que deben surcar, lejanos al equilibrio hídrico. Las cabeceras aprovechan cuencas de recepción reducidas, nichos de nivación o circos; el descenso se inicia formando gargantas muy cerradas en las laderas, en forma de V muy marcada. La génesis de las gargantas abiertas en el piedemonte se atribuye a movimientos recientes que han podido descompensar y elevar las depresiones, afectando los niveles de base de las rampas. Así mismo, en los fondos de las depresiones la red se encaja en las estructuras de falla, que la regulan en un canal principal de traza rectilínea, como en el caso del Eresma y del Moros.

La segunda unidad morfoestructural del sector central transcurre entre la depresión de San Martín de Valdeiglesias-El Tiemblo-Cebreros (NE) hasta la Garganta de las Picadas y la depresión de Bejar (SO). La fisonomía global es de escalera, con los horst guía en disposición casi E-O. La alineación fundamental de cumbres la forman Gredos y la sierra de la Neva, sierra del Cabezo, Sierra del Valle, sierra de Bejar, La Serrota y la Sierra de la Paramera. Adosado a esta dovola guía por el N, se adosa otro bloque escalonado, configurando el escalón de la paramera, con los páramos de Piedrahita, Ávila y la sierra de Ávila.

Los horst apuntados quedan individualizados por los grabens del Alto Tormes, Alto Alberche, la fosa-depresión de Campo Azálvaro, la fosa depresión del Valle de Amblés, el corredor de fracturas del Puerto de Villa Toro, el corredor de Corneja-Tormes, el corredor de Béjar-Valle del Alagón

Al N del horst de la Sierra de Ávila, los grabens de las rampas de las Sierras de Ávila-Ojos Albos. Dentro del horst escalón (paramera) de Piedrahita y Ávila están la Fosa de la Garganta del Villar y el corredor de Navalacruz.

Las planicies salmantinas constituyen los relieves de transición entre Gredos y la depresión del Duero. Son modelados recientes elaborados por los procesos fluviales del Adaja y del Tormes, que en el contacto con el piedemonte han desarrollado valles aluviales con fondos de artesa y depósitos aluviales y terrazas bien marcadas.

Las formas glaciares y periglaciares son notorios en todo el sector central: La Serrota, Alto Gredos, la Nava del Barco, Candelario y Béjar. Los glaciares de valle, ladera y circo se encuentran en ambas vertientes, desde los 2200-2300 m en la cara S hasta los 1380-1400 m en la N. También son importantes otras formas glaciares derivadas, por las morfologías en sí mismas y por los aportes de material de relleno a la cuenca: canchales, pedreras, conos, corredores, taludes, mares de bloques, etc.

2125 c) Sector Occidental: Gata y Peña de Francia

Las sierras de Gata y Peña de Francia forman la sección más occidental del Sistema Central Español, con una fisonomía similar al sector Somosierra-Ayllón.

Transcurre entre la Depresión de Béjar al E y el límite político administrativo entre España y Portugal.

La dirección seguida por las elevaciones es NE-SO, impuesta por la falla Mesajana. El núcleo central de cumbres y parameras lo forman: la Sierra de Peña de Francia, Comarca de las Las Hurdes, Las Batuecas y la Sierra de Gata. Los piedemontes y depresiones del flanco septentrional son: la rampa de Peña de Francia-Tamames, que enlaza con las planicies de Salamanca, la rampa de Sierra de Gata-Rio Águeda que enlaza con la Fosa de Ciudad Rodrigo, la garganta depresión del Río Águeda y las rampas residuales de Erjas y Gata. Los modelados recientes del relieve de deben a procesos de retoque fluvial, gravitacional, mixtos o periglaciár.

Unidades de relieve de Castilla y León
Sistema Central y Penillanura Salmantina
Imagen NOAA-AVHRR. RGB, 3.2.1.
MDT 200 m.

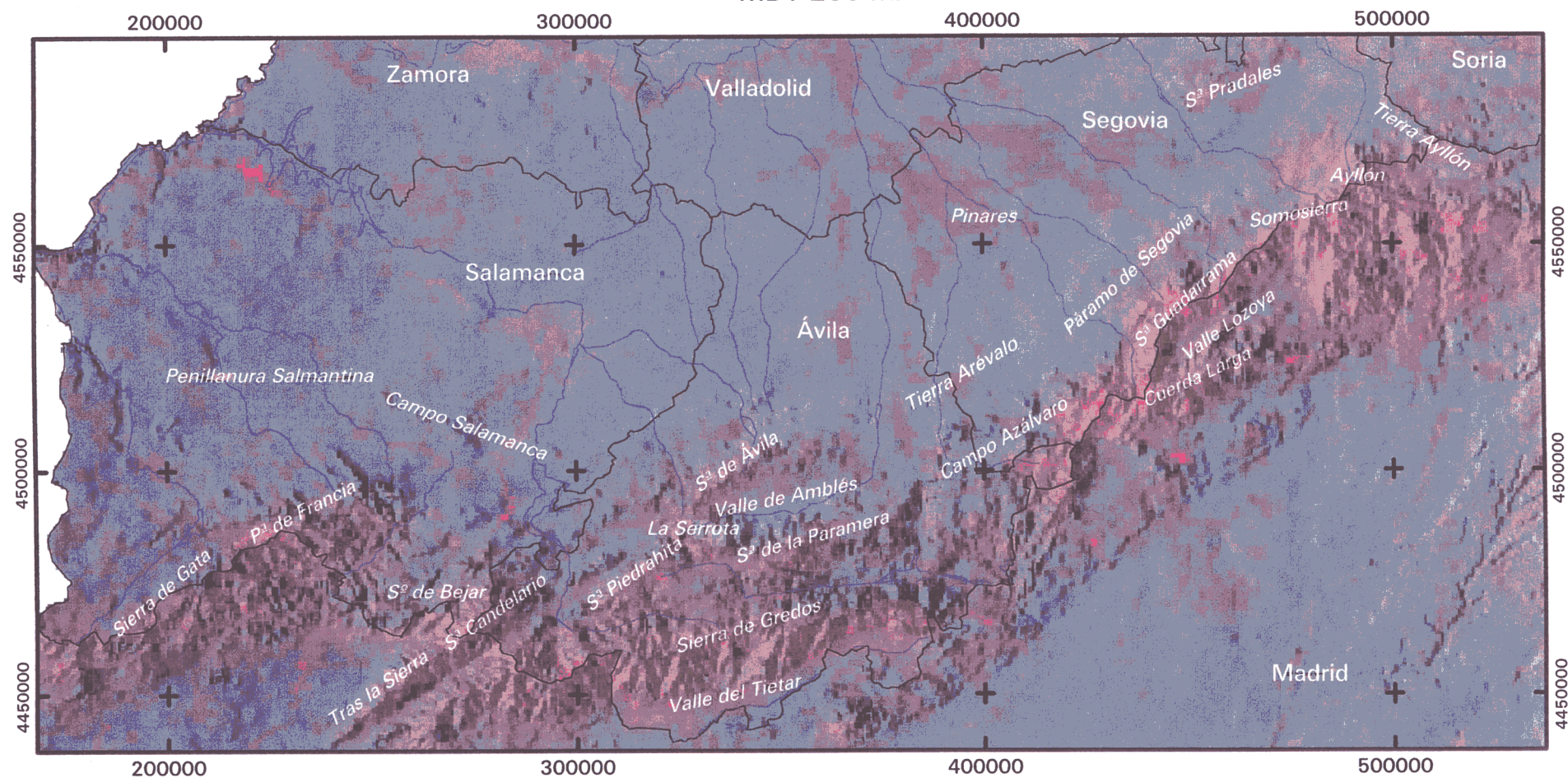


Figura 2.6

Proyección UTM. Zona 30.
Esferoide Internacional 1909.
Datum Europeo 1950.

Escala
50000 0



Metros

2130. UNIDADES DE RELIEVE DE LA CUENCA CENTRAL DE CASTILLA Y LEÓN

La cuenca central se identifica casi por completo con la depresión del Duero; por su estructura es una inmensa superficie planimétrica de 50.000 Km² que encierra formas, usos y ocupaciones del terreno muy variadas. Para muchos, la percepción de estas tierras es sinónimo de interminable y tórrida estepa, comparable incluso con paisajes de la Pampa Argentina (Marañón, 1949)⁵¹, de “tierra triste y noble ... de altos llanos y yermos y roquedas, de campos sin arados, regatos ni arboledas ...” (Machado, 1917. p.68)⁵².

La geología y sus formas asociadas evidencian la riqueza de procesos de esta gran unidad estructural. Siguiendo a Pérez González, *et al.* (1994, p.351)⁵³, distinguimos cinco zonas con caracteres propios según su origen geotectónica, el sustrato litológico y la red de drenaje: las regiones NO y NE, el sector central, la cuenca de Almazán y el reborde S (Figura 2.7 y 2.8).

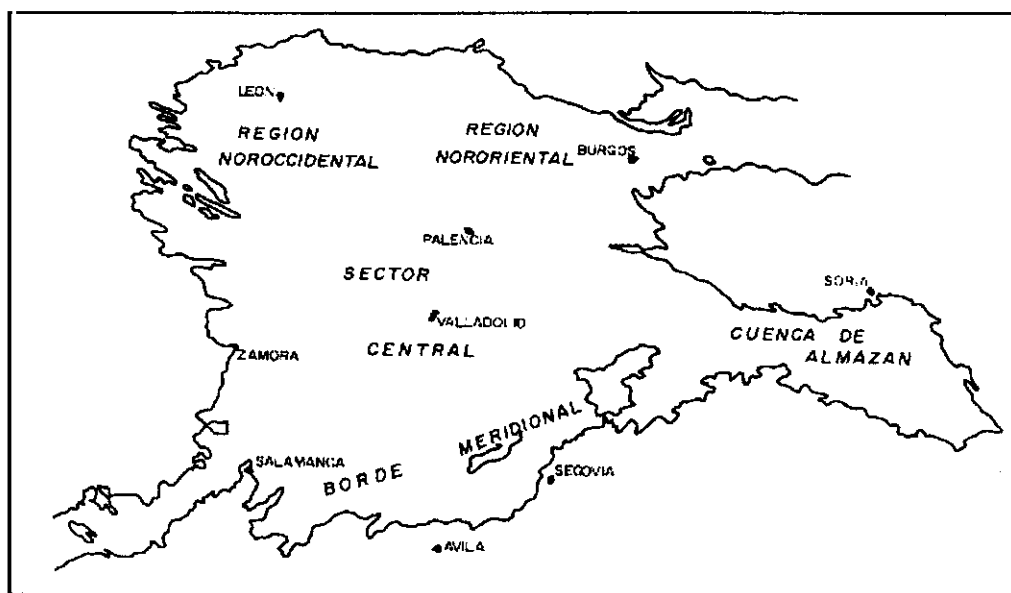


Figura 2.7 Sectores de la depresión central con formas del relieve afines
Fuente: Pérez González, A., *et al.* En Gutiérrez Elorza. 1994, *Cit. supra.* p. 357.

51 Marañón, G. (1949). Castilla la Vieja. La Nación. Buenos Aires, 11 Septiembre. En: G. Marañón. Obras Completas. T 4. Espasa Calpe, Madrid, 1968.

52 Machado, A. (1917). Campos de Castilla. En: Poesías Completas de Antonio Machado. Ed. Espasa Calpe, S.A. selección Austral, Madrid, 1975.

53 Pérez González, A., Martín-Serrano García, A., Pol Méndez, C., (1994). Depresión del Duero. En: Gutiérrez Elorza, M., *et al.* Geomorfología de España. Ed. Rueda. Madrid. pp. 351-387.

Unidades de relieve de Castilla y León
 Depresión Central
 Imagen NOAA-AVHRR. RGB, 3.2.1.
 MDT 200 m.

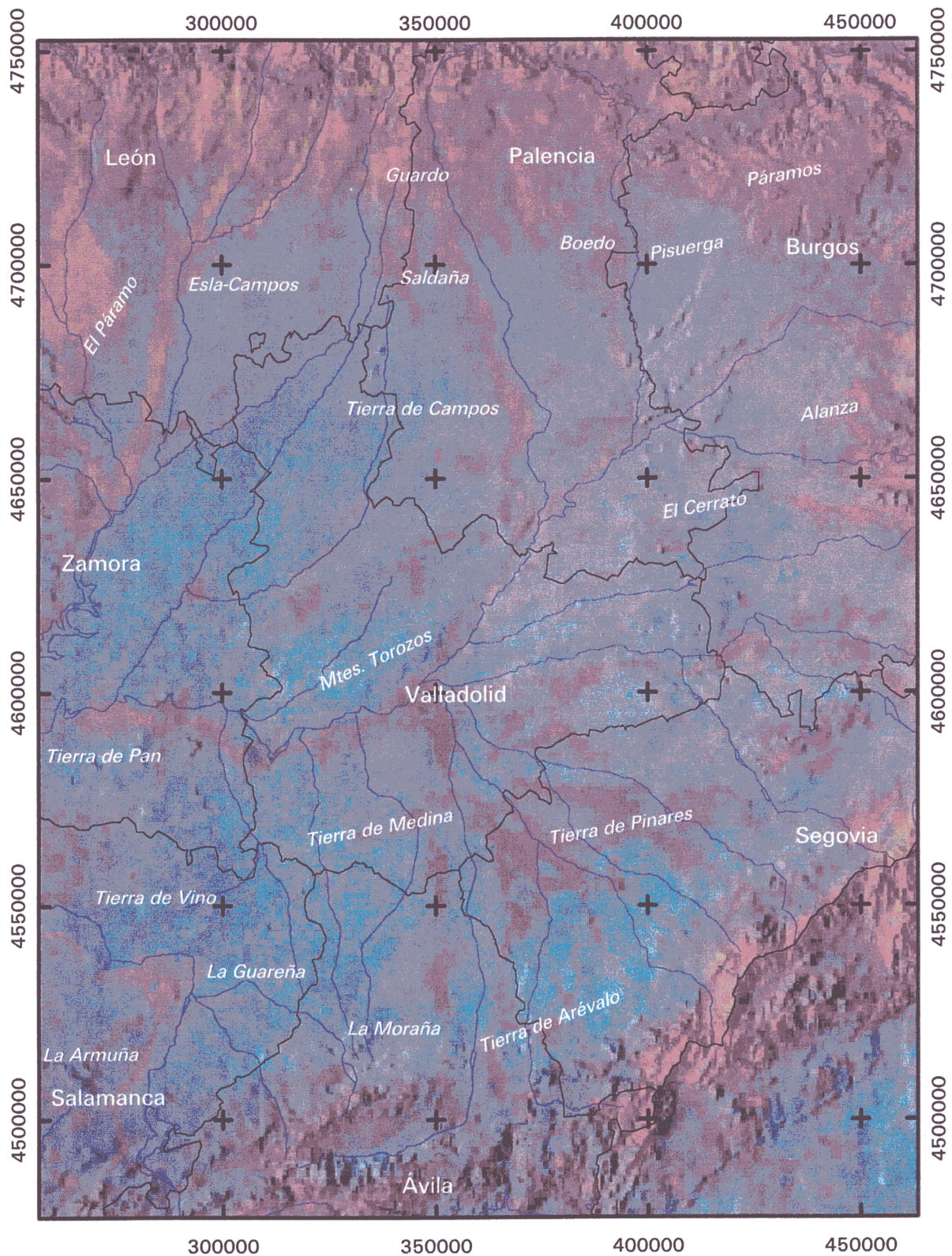


Figura 2.8

Proyección UTM. Zona 30.
 Esferoide Internacional 1909.
 Datum Europeo 1950.

Escala

50000 0 Metros

Los límites de la depresión central han quedado indirectamente definidos al describir las unidades de borde. En síntesis son: los materiales paleozoicos de la cordillera Cantábrica cierran el extremo N. El límite NE lo clausuran los sedimentos mesozoicos de la cordillera Cantábrica y las elevaciones terciario-mesozoicas de los Montes de Oca, que individualizan las cuencas hidrográficas del Duero, Ebro y Cantabria. El E queda sellado por las estribaciones septentrionales paleozoicas del Sistema Ibérico y la Cuenca de Almazán. Un ramal meridional mesozoico del Sistema Ibérico y la sierra de Ayllón acotan el SE. El flanco S y SO queda limitado por los horst y grabens del Sistema Central. El O no está marcado por elevaciones relevantes, lo que permite la entrada de influencias Atlánticas, sino por la arrasada penillanura Zamorano-Salmantina sobre materiales ígneos y metamórficos del macizo Hespérico. Por último, el sector NO lo acotan las elevaciones paleozoicas galaico leonesas.

El borde orográfico actúa también de frontera hidrológica; la submeseta N coincide casi en su totalidad con la cuenca hidrográfica del Duero, colector central que recorre la depresión de E a O, excepto en tres de sus extremos. En el extremo NO, las vertientes occidentales de los Montes de León drenan sus aguas hacia la cuenca del Miño a través del Sil. La cuenca del Sil ocupa tan solo el 1,5 % del territorio de Zamora y el 12,3 % en León. La segunda salvedad corresponde a los extremos de la cuenca del Ebro que se imbrican en los límites orientales de las provincias de Soria y Burgos; allí nacen el Alhama, Jalón, Oca y Urbión, todos ellos afluentes de la margen derecha del Ebro. Por último, los cauces que corresponden a la Cuenca del Tajo, en el S, son el Alagón y el Alberche.

La historia evolutiva de colmatación y vaciado parcial de la depresión está determinada fundamentalmente por:

1. la fragmentación del zócalo durante los paroxismos tardihercínicos
2. la reactivación de los relieves durante las presiones Alpinas, que singularizan las líneas de fracturación tardihercínicas, dando lugar a los grandes dominios estructurales de la cuenca central (Figura 2.9).
3. el encajamiento de la red hídrica y los reajustes tectónicos recientes.

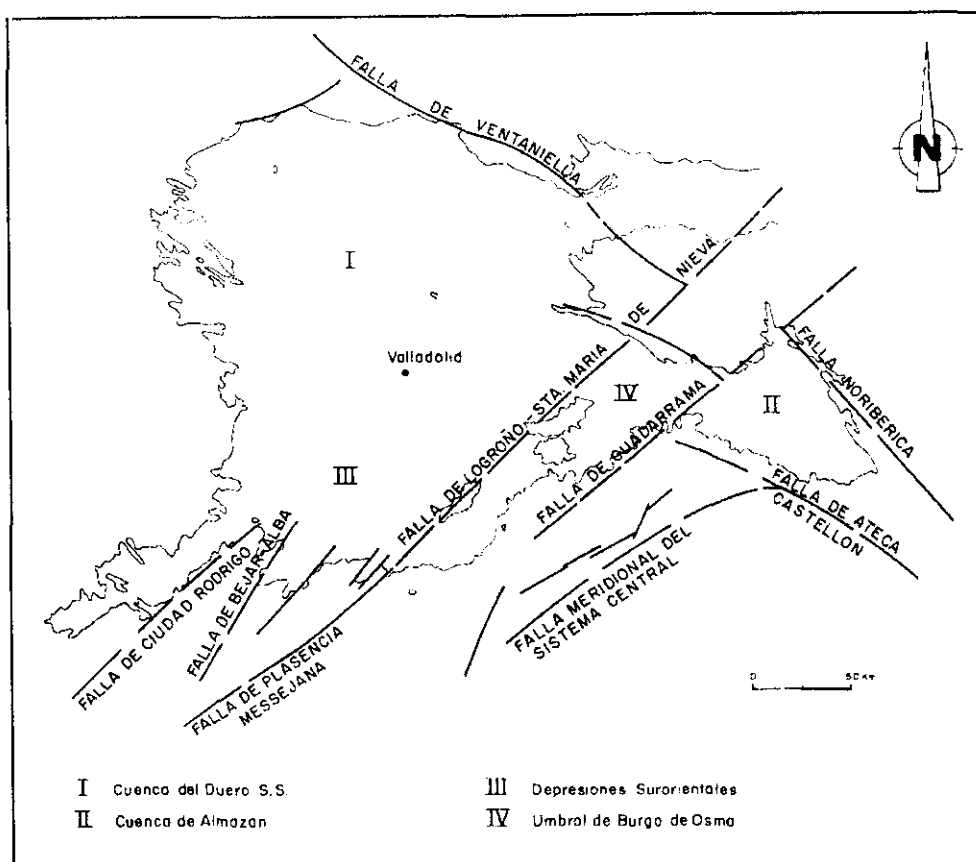


Figura 2.9 Dirección de fallas estructurales de la depresión del Duero.

Fuente: Pérez González, A., *et al.* En Gutiérrez Elorza. 1994, *Cit. supra* p. 353.

La historia del relleno de la depresión suscita diversas aproximaciones, tal y como plantean los estudios de Molina (1989. *Cit. supra*) y Bustillo y Martín Serrano (1980)⁵⁴:

Los depósitos más antiguos, de fases marino regresivas del cretácico superior, se encuentran en los bordes occidentales de la cuenca, hecho corroborado por las dataciones de Pol (1985)⁵⁵.

1. Autores como Jiménez (1977)⁵⁶, Garzón y López (1978)⁵⁷ y Corrochano (1989)⁵⁸, establecen una segunda etapa de sedimentación de la cuenca, comenzando en el eoceno y prolongándose durante el mioceno inferior. La génesis de los depósitos

54 Bustillo, M. A., Martín Serrano, A., (1980). Caracterización y significado de las rocas silíceas y ferruginosas del Paleoceno de Zamora. *Tecniterrae*, 36. 14-29. Madrid.

55 Pol Méndez, C., (1985). Estratigrafía y sedimentología de los sedimentos cretácicos paleógenos y miocenos del este de la cuenca del Duero. Resumen de la Tesis Doctoral. Servicio de publicaciones de la Universidad de Oviedo. 59 pp.

56 Jiménez, E., (1977). Sinopsis sobre la génesis de los yacimientos fosilíferos paleógenos de la provincia de Zamora. Vol. Geol. y Min, 87 (5), 357-364.

57 Garzón Heidt, G., Fernández García, p., (1978) Los roedores fósiles de Los Barros (Ávila). Datación del Paleógeno continental del Sistema Central. *Estudios Geológicos*. 34, 571-575.

58 Corrochano, A., (1989). Facies del cretácico terminal y arquitectura secuencial de los abanicos aluviales terciarios del borde norte de la Depresión del Duero (Valle de Las Arrimadas. León). *Studia Geologica Salmanticensia*. Vol esp. 5, 89-106

manifiesta una gran variedad de ambientes continentales y su disposición evidencia las pulsaciones y ajustes tectónicos de los relieves marginales, siendo más activos los bordes Cántabro e Ibérico. Las áreas colmatadas por estos sedimentos son: la cuenca del Duero entre las fallas de Ventaniella-Demanda por el N y la de Logroño-Santa María de Nieva por el SE, la Cuenca de Almazán y las cuencas de las depresiones suroccidentales. Los sedimentos se organizan en grandes desparramamientos de tipo cono-aluvial o aluvial-lacustre, condicionados en su composición por la naturaleza de los materiales de borde. En relación con los grandes relieves generados durante esta etapa, Pérez *et al* (1994, *Cit. supra*) apuntan que su interpretación debe hacerse “según un modelo característico de cuenca endorréica con disposición de abanicos aluviales con estructura centrípeta, actuando de orla de una cuenca lacustre extensa y somera” (p. 354).

2. Entre el mioceno medio y el plioceno se reconoce otra fase de sedimentación, generalizada en todos los dominios, con lo que culminaría la colmatación de la cuenca en las áreas centrales. Los depósitos marginales se disponen en abanicos aluviales, mientras que los que alcanzan las topografías planas de la cuenca a través de ambientes fluviales, se disponen en llanuras de inundación, canales anastomosados, trezados o meandriformes. La deposición de sedimentos detríticos finos se realiza en aquellos puntos de la cuenca con menor energía (zonas endorréicas, confluencia de abanicos), dando lugar a los niveles de calizas inferiores y superiores de la superficie del páramo.
3. El último periodo formador de la cuenca transcurre durante el pliocuaternario, en el que se suceden complejas secuencias de erosión acumulación, fundamentalmente por la jerarquización y encajamiento de la red fluvial. En los bordes se forman los últimos abanicos aluviales, al tiempo que comienza la degradación de los piedemontes. Los mantos aluviales descienden más allá de los ambientes perimontañosos hasta la depresión.

En cada dominio de Pérez González (1994, *Cit. supra*) podemos reconocer algunas de las unidades morfoestructurales que García Rodríguez (1994, *Cit. supra*) determina para la depresión: piedemontes detríticos, páramos calizos, cuestas, campiñas arcillosas y arenosas, terrazas, vegas y áreas endorréicas. En nuestra descripción de las subregiones naturales de la cuenca central sintetizamos la visión de ambos autores, incorporando elementos geomorfológicos, hídricos, y edáficos, todos ellos esenciales para la comprensión global del territorio.

2131. REGIÓN NOROCCIDENTAL

Abrigada por los Montes de León y las montañas Cántabras occidentales, esta región queda delimitada por los cursos hídricos que descienden de ambos sistemas hasta confluir con el Duero. Los de origen Cántabro siguen dirección N-S y son: Cea, Esla, Porma, Torio, Bernesga, Luna y Órbigo. Los de origen Leonés encajan su curso en las

líneas E-O impuestas por el sustrato hercínico, hasta su confluencia con los cursos anteriores y son: Omañas, Brañuelas, Duerna, Jamuz, Eria, Tera. De N a S se distinguen el piedemonte, el páramo y la vega.

Los piedemontes leonés y zamorano también reciben los nombres de plataformas detríticas, rañas, páramos de raña, páramos detríticos o depósitos de piedemonte. Aglutinan sedimentos groseros, enlazando las cumbres paleozoicas con la cuenca. En el sector leones se corresponde con el piedemonte de la Maragatería, la superficie de Brañuelas (1200-1250m), Las Omañas y los piedemontes septentrionales de la Comarca de Riello (La Robla). Los piedemontes septentrionales alcanzan el paralelo de León, mientras que los que arrancan de las montañas occidentales se prolongan hasta el paralelo-meridiano de Astorga. Otras formas del terreno abundantes en el piedemonte son las terrazas, escasas en el reborde Cántabro y más desarrolladas en occidental, siempre de escasa pendiente y con depósitos aluviales groseros. Estas superficies de sedimentos pliocuaternarios de los piedemontes de León, Palencia, Zamora y Salamanca tienen un interés científico particular en relación con su génesis y evolución así como por su ordenamiento agrícola (García Rodríguez 1994, *Cit. supra*). En relación con la agricultura cerealista, en los páramos de piedemonte predomina la explotación de centeno de bajo rendimiento

Entre los límites meridionales del piedemonte y el interfluvio de los ríos Cea, Esla, Órbigo y Tera, al sur de Benavente, transcurre la región de los páramos leoneses, que unifica las comarcas de La Carballeda, La Bañeza, El Páramo Leonés y la Vega de Toral. Se trata de “plataformas conglomeráticas de desarrollo longitudinal estrecho y paralelo al trazado fluvial y de grandes llanuras aluviales con interfluvios escalonados dominados por retazos residuales de altas plataformas” (Pérez González, 1994, *Cit. supra*, p. 359). La disimetría del sistema de terrazas manifiesta la existencia de reajustes morfotectónico, que han contribuido a capturas fluviales, evidenciadas por cambios direccionales radicales en los cursos (Pérez García, 1997)⁵⁹.

El escarpe oriental del río Cea da paso a una región suavemente alomada, exenta de terrazas, con abundante endorreísmo en las lagunas de Villafáfila: constituye el extremo occidental de la Tierra de Campos, que enlaza con las planicies de La Lampreana y el Raso de Villalpando. La plana topografía se inclina de NE a SO, y solo se ve interrumpida por el Valderaduey, río de carácter autóctono, con un sistema de terrazas muy poco desarrollado. Martín Serrano (1988)⁶⁰ apunta que la superficie de Valderaduey se trata de un relieve tabular plano estructural previo a la facies de la Tierra de Campos. La morfología compacta y diferenciada de esta superficie se debe en parte a los procesos de alteración del terciario antiguo y del zócalo, con disolución de

59 Pérez García, L. C., (1977). Los sedimentos auríferos del NO de la Cuenca del Duero (Provincia de León, España). y su prospección. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo, 403 p. Inédita.

60 Martín Serrano, A., (1988). El relieve de la región occidental zamorana. La evolución geomorfológica de un borde del Macizo Hespérico. Instituto de Estudios Zamoranos “Florián de Ocampo”. Dip. de Zamora. 306 p. Zamora.

sílice, argilización, y carbonatación, que han dado lugar a encostramientos y Tesos colgados en la encajada red fluvial.

El ramal más meridional de esta planicie es la Tierra de Pan Zamorana, entre Zamora y Toro o los interfluvios del bajo Esla, Valderaduey y Bajoz, en sus recorridos previos al encuentro con el Duero. La topografía sigue descendiendo en su aproximación al colector principal (700-600m). La morfología combina altas plataformas estructurales con terrazas fosilizadas por arenas eolizadas, (suelos de terrazas arenosas).

En la ribera meridional del Duero, en el borde occidental de la depresión, se suceden las comarcas de Tierra de Vino, La Guareña, La Armuña y Sáyago. El desarrollo de terrazas es aún más escaso y está dominado por plataformas suavemente monoclinales, con “yesos y resaltes estructurales de las capas paleógenas, inclinadas al NE. Es un modelado escasamente disectado por una precaria red fluvial autóctona, sin terrazas y con vertientes disimétricas que tienen sus bordes escarpados al E y con el Guareña como cuero más representativo” (Pérez González *et al.* 1994, *Cit. supra*, p, 362).

2132. REGIÓN ORIENTAL

Los sectores morfoestructurales de esta región están ligados a la evolución de las unidades de borde septentrional y oriental (montañas Cantábricas, Montes de Oca y rama N de Sistema Ibérico) y a los notables procesos de erosión cuaternarios, principalmente fluviales.

La red de drenaje en esta región se articula en función del colector central Pisuerga-Arlanzón. La margen derecha recoge las aguas Cantábricas a través del Carrión, Valdavia y Alto Pisuerga, mientras que la margen izquierda absorbe el drenaje de la Ibérica por el alto Arlanzón y el Arlanza. En las áreas de piedemonte, los trazados de la red están dominados por las estructuras de pliegues y fracturas; al entrar en los dominios de páramos y valles de cuenca la fluencia es más rectilínea y el desarrollo de terrazas mayor.

Al igual que la región noroccidental, la oriental está estructurada desde la periferia hacia el centro por los piedemontes, seguidos de los páramos, dominados estos últimos hacia el centro de la cuenca por las formas fluviales.

En los páramos se han reconocido dos superficies de acumulación / arrasamiento; la más antigua se desarrolla entre el oligoceno-mioceno inferior, aunque en algunos puntos como en el valle del Arlanza se reconozcan abanicos aluviales que lo prolongan hasta el mioceno medio (Gracia *et al.* 1990)⁶¹; la segunda superficie de erosión, desarrollada durante el mioceno medio y superior, “corresponde a una orla erosiva que se extiende

61 Gracia Prieto, F. J., Nozal Martín, F., Pineda Velasco, A., Wouters de Vries, P. F., (1990). Superficies de erosión neógenas y neotectónica en el borde NE de la Cuenca del Duero. *Geogaceta*, 7, 38-40.

desde los relieves mesozoicos hasta los niveles de colmatación de la cuenca" (García González *et al* 1994, *Cit. supra*, p. 363). Gracia *et al.* (1990. *Cit. supra*) datan esta superficie entre el turolense y el plioceno, en función de su fosilización por depósitos de raña. Estos depósitos se desparraman en abanicos aluviales de detritus conglomeráticos.

En el sector Ibérico cabe citar el ejemplo de las superficies de erosión-rañas de Covarrubias-Santo Domingo de Silos; en el borde Cantábrico, el caso más representativo es la raña de Guardo, por su extensión y conservación: 52 Km desde el ápice al margen distal, espesores entre 9 y 2 m respectivamente y pendiente media del 7‰ (García Ramos *et al.* 1982)⁶².

Las regiones de páramos calcáreos y campiñas adyacentes al piedemonte nororiental se describen en la unidad central.

2133. BORDE MERIDIONAL

Las subunidades del frente meridional de O a E son el páramo de Ávila y el borde segoviano.

2133 a) Páramo de Ávila

El páramo de Ávila forma un gran bloque con características morfológicas propias, surcadas por los cursos del Tormes, Guareña, Trabancos, Zapardiel y Adaja, y dominado estructuralmente por las fallas de Alba Villoria al O y Santa María La Real de Nieva al E.

Las sierras de Ávila y Gredos son la fuente de los materiales de colmatación terciaria; el relieve resultante se caracteriza por formas suaves, superficies planas o ligeramente alomadas, inclinadas hacia el NE y surcadas por extensos valles.

El límite entre el relleno terciario y el zócalo hercínico es irregular en sus formas, pero nítido en sus líneas de contacto, pues por su origen tectónico, los límites se ven marcados por escarpes de falla. El zócalo presenta materiales metamórficos y plutónico hercínicos ya denudados y vencidos suavemente hacia la cuenca.

Los depósitos terciarios están también arrasados, en superficies anteriores a las incisiones cuaternarias de la red del Duero. Olive (1982)⁶³ y Carreras (1982)⁶⁴ las denominan prerrañas, en cotas entre los 1000 y 1060 m. Hacia el N, y encajada en esta

62 García Ramos, J.C., Vargas Alonso, I., Manjón Rubio, M., Colmenero Navarro, J. R., Gutiérrez Elorza, N., Molina E., (1982). Hoja y Memoria del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, 2ª Serie. Hoja nº. 132. Guardo. IGME. Madrid.

63 Olive, a., Portero, J.M., Olmo, P. del, Aragonés, E., Carreras, F., Molina, E., Gutiérrez Elorza, M., (1982). El sistema de terrazas del río Carrión. I reunión sobre la geología de la Cuenca del Duero. Salamanca, 1979. Temas Geológico Minero. Parte II, 451-462. IGME. Madrid.

64 Carreras, F., Olive, A., Fernández Carrasco, I., (1982). hoja y memoria del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000, núm. 481. Nava de Arévalo. Serie IGME. Madrid

superficie, se encuentra la raña propiamente dicha, hacia los 980 m. El enlace entre las rañas y las terrazas más altas de los afluentes que vierten al Duero por su izquierda se soluciona con acumulaciones de glacia. La síntesis paisajística alterna replanos, escalonados con escarpes suavizados, hasta enlazar con las unidades del sector central de la cuenca.

Los piedemontes que descienden desde las Sierras de Ávila y de Ojos Albos enlazan con la depresión a través de las comarcas de La Moraña, y de las Tierras de Arévalo y Medina. El sistema de terrazas de esta zona ha acumulado una menor extensión de depósitos que en unidades anteriores, siendo las principales las de los ríos Almar, Trabancos, Zapardiel y Adaja.

Pérez González (1994, *Cit. supra*, p. 365) resalta la disimetría de valles, más abruptos en la margen derecha, lo que podría “ser consecuencia de los movimientos verticales con hundimiento hacia el NO de los bloques en que está compartimentada la cuenca, como del modelado diferencial con relación a la orientación de sus vertientes”. La reactivación tectónica a lo largo del cuaternario también queda de manifiesto en los trazos rectilíneos de la red hídrica, en la distribución de terrazas y en los cambios bruscos de pendiente de las superficies.

Las morfologías eólicas y endorréicas son abundantes: estas formas erosivas y acumulativas comienzan en el pleistoceno y han modelado campos de dunas, cubetas de deflación y mantos eólicos. Pequeñas lagunas ocupan los fondos de las cubetas, aunque muchas han sido desecadas por acción antrópica con intereses agrícolas. También se han desarrollado centros endorréicos temporales o permanentes en los fondos de valle del área de Medina del Campo.

2133 b) Borde Segoviano

Desde el río Adaja por el O hasta los piedemontes limítrofes con la cuenca de Almazán por el E, transcurre el borde septentrional segoviano de la cuenca del Duero. Lo más singular de este sector son los afloramientos aislados y discontinuos de bloques del basamento y de la cobertera cretácica a unos 30 Km al N del Sistema Central, lo que ha facilitado acumulaciones arcósicas del paleógeno y neógeno.

De SO a NE los horst externos al Sistema Central son: el bloque de Lastras de Lama, con cotas entre 1000 y 1060 m, el Macizo de Santa María La Real de Nieva, entorno a los 900m y el macizo de Pradales-Honrubia que asciende hasta los 1250-1300m. (Fernández García 1988)⁶⁵

65 Fernández García, P. (1988). Geomorfología del Sector comprendido entre al Sistema Central y el macizo de Santa María La Real de Nieva (Segovia). Tesis Doctoral. Ed. Univ. Complutense. 336 p. Madrid.

De W a E, la red hidrográfica ha modelado de manera más incisiva el pedimento que en el páramo de Ávila, por la acción del Voltoya, Moros, Eresma, Pirón, Cega, Duratón y Riaza, que penetran en las unidades centrales de la depresión a través de profundos encajamientos abiertos en las estructuras cretácicas del borde

La transición del Sistema Central a la cuenca ha quedado solucionado en este sector con los plegamientos de la cobertera cretácica y de algunos niveles del paleógeno. La gran complejidad del basamento condiciona los modelados: plataformas estructurales de bordes encajados, zonas suavemente onduladas que encierran cubetas sinclinales karstificadas y ríos encajados. Las superficies de transición son: La tierra de Ayllón y el piedemonte de Riaza (surcadas por el río Riaza), la superficie de Sepúlveda y Cantalejo (surcadas por el río Duratón), los piedemontes de la Mujer Muerta y el Páramo Segoviano (surcados por el Eresma) y el aplanamiento que desde el pie del Macizo de Ojos Albos se extiende desde Aldeavieja por Villacastín hasta las proximidades de Santa María La Real de Nieva.

Las terrazas fluviales están de nuevo presentes en el piedemonte; paralelas al cauce, mantienen la secuencia completa de sedimentación solo en la margen izquierda y en las zonas altas de la cuenca, ya que se pierden en las incisiones de los macizos satélites. La disimetría de vertientes fluviales y de depósitos de terraza deja ver claras capturas fluviales, especialmente en la red del Eresma. Según Garzón Heidt y Fernández García (1989)⁶⁶ el desplazamiento de la red hídrica hacia el NE y su jerarquización a favor del Eresma evidencian el descenso del nivel de base.

2134. SECTOR CENTRAL

Arropadas por la aureola de piedemontes quedan las tierras bajas de la depresión, diferenciadas en 3 grandes unidades morfoestructurales.

- a.- La campiña arcillosa de Tierra de Campos, al norte del Duero.
- b.- Los páramos calcáreos de Torozos, Cerrato, Corcos y Cuellar.
- c.- Las tierras bajas detríticas de Medina, Pinares y Arévalo, al sur del Duero.

2134 a) La campiña arcillosa de Tierra de Campos.

Constituye la morfología continuadora del gran abanico de Guardo. En líneas generales, ocupa la planta triangular interfluvial del Carrión, (E) y el Cea-Esla (O). La zona apical quedaría constituida por el frente distal del abanico de Conardo, mientras que el borde meridional queda delimitado por los Montes Torozos.

66 Garzón Heidt, G., Fernández García, P., (1989). Las capturas fluviales de los ríos Voltoya, Zorita, Moros, y Eresma. Sus implicaciones geológicas. Actas de la 2ª Reunión del Cuaternario Ibérico.

Es la más extensa, central y baja de las campiñas: 7000 km² con una altitud entre 725 y 825 m. Se trata de una zona de relieves suaves, poco disectado, con amplias campiñas y puntos de endorreísmo local, favorecido por la morfotopografía, Plans (1970)⁶⁷ remarca que se trata de un sistema de talwegs y divisorias poco diferenciadas sobre fangos ocreos y paleocanales arenosos intercalados, del mioceno medio. Los ríos alóctonos (Esla, Cea, Carrión y Pisuerga), aunque transcurren algo más encajados, lo hacen sobre vastos fondos llanos. Los autóctonos (Valderaduey, Sequillo, Valdeginete) muestran una amplitud e incisión menor, muestra de su menor capacidad de arrastre, depósito y abrasión. Los arroyos afluentes forman redes densas de cursos cortos, con limitada capacidad de retroceso y ensanche; así. Los interfluvios se dividen en lomas y colinas y vallonadas cóncavas que albergan abundantes charcas y lagunas (La Nava).

La ausencia de acarcavamientos en las arcillas de la Tierra de Campos tiene su origen en los importantes procesos de solifluxión periglacial (Cabero *et al.* 1996, p 29)⁶⁸, que han modelado por arrasamiento las pequeñas irregularidades del terreno. Prueba de ello son los recubrimientos de barro en vertientes y fondos de pequeños valles y, aunque se trata de un tapiz de pocos metros, ha reducido concavidades y convexidades de un modo eficaz, rellenando los fondos de cárcava con el material denudado de los resaltes, uniformando así pendientes y superficies.

La baja altitud de la Tierra de Campos y el nivel similar de sus interfluvios, siempre inferior al de los páramos calcáreos, puede inducir a pensar en su génesis a partir del desmantelamiento de las calizas del páramo. Indudablemente, este es el caso en la zona de contacto entre ambos sectores, en el borde oriental de la Tierra: la transición de una unidad a otra se resuelve por cuestas, y queda patente a través de las numerosas muelas residuales a lo largo de la línea limítrofe. A partir del interfluvio Sequillo - Valderaduey, los cerros disminuyen en número, se adelgazan los pocos lechos calizos hasta desaparecer por completo hacia el O. Esto parece indicar que, en su mayor parte y desde el inicio, la campiña se labró sobre arcillas: el carácter endeble de este material permitió profundizar más en el desmantelamiento, y junto a la localización central en la cuenca explica su baja altitud.

La bondad de la topografía, el clima apto, etc., hace de la Tierra de Campos un inmenso granero: la mayor parte de los suelos están sometidos a cultivo a pesar de que carecen de horizontes de humus. García Rodríguez (1994, *Cit. supra*) apunta que son suelos neutros o alcalinos, excepto en áreas arenosas; el contenido de materia orgánica en la arcilla es tan bajo que casi no contribuye a la estabilidad estructural. La secuencia y tipos de suelos desde las áreas con suelos evolucionados hasta áreas erosionadas es la siguiente:

67 Plans, P., (1970). La Tierra de Campos IGA CSIC. 9-289. Madrid.

68 Cabero Dieguez, V., Cascos Maraña, C., Calonge Cano, G., (1996). Geografía General de Castilla y León. TII. Ed. Páramo. Madrid.

- Vertisoles, formados sobre depresiones arcillosas en zonas llanas. Su textura exige condiciones especiales para el laboreo, aunque en la cuenca del Duero, la mayoría se cultivan ya que las precipitaciones son poco intensas. Aunque las condiciones físicas de estos suelos no sean muy favorables, las propiedades químicas hacen de los vertisoles unos de los suelos más fértiles de la región.
- Luvisoles y Cambisoles, asociados a los anteriores, son igualmente fértiles y físicamente más aptos para cultivos.
- Regosoles, localizados en zonas con intensa erosión y clima semiárido; son muy arcillosos y poco permeables

2134 b) Los páramos calcáreos de Torozos, Cerrato, Corcos y Cuellar.

Los páramos ocupan el sector centro oriental de la cuenca a ambos lados del Duero, con enclaves al O de Valladolid (Toroedos), seguido de El Cerrato al SE de Burgos y separados por el Pisuerga; los páramos meridionales, al sur del Duero, se prolongan desde Cuellar en Segovia hasta el SO de Soria. Los páramos están descentrados con respecto al esquema de relleno de la cuenca: en algunos bordes conectan con las cordilleras periféricas, mientras que en otros están a decenas de kilómetros. La explicación a este hecho hay que buscarla en los relieves fuente de las calizas mesozoicas: las montañas calcáreas del NE y E frente a las silíceas del O. Se trata de extensas superficies planas de calizas horizontales formadas en medios lacustres. Los más extensos se encuentran en Valladolid (Toroedos), Palencia, Burgos, Soria y Segovia.

La plataforma caliza del Páramo de Torozos se sitúa al sur de la Tierra de Campos, sobre elevada de ésta entre 80 y 100 m. El enlace entre ambas morfologías se salva por cuevas y glacia, replanos, relieves en graderío y mesas. La edad de formación se enmarca entre el plioceno superior y el pleistoceno inferior, y se construyen sobre las series superiores carbonatadas del vallesiense superior (del Olmo y Portero 1982)⁶⁹. Asimismo, la cronología de Torozos con la Raña de Guardo queda establecida por Olive *et al.* (1982, *Cit. supra*). El páramo de El Cerrato (Palencia) queda también datado por Olmo y Portero (1982, *Cit. supra*).

La red fluvial ha quedado muy encajada en los depósitos de páramo, como es el caso del Pisuerga, entre Torozos y El Cerrato: las terrazas se escalonan en la margen derecha, mientras que la izquierda es corta y empinada. La estructura de terrazas del Pisuerga aguas abajo de Palencia, ha sido estudiada en detalle por Leguey y Rodríguez (1969)⁷⁰ García Abad y Rey Salgado (1973)⁷¹ y del Olmo y Portero (1982 *Cit. supra*).

69 Olmo del, P., Portero, J. M., (1982). Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hojas de Cigales (343) y Valladolid (372). ITGE. Madrid.

70 Leguey, S., Rodríguez, J., (1969). Estudio mineralógico de los ríos de la cuenca del Pisuerga. I. Morfología de las terrazas. *Anal. de Edaf. Y Abrobiol.* 28, 445-470.

71 García Abad, F. Rey Salgado, J., (1973). Cartografía geológica del Terciario y Cuaternario de Valladolid. *Boletín Geológico y Minero.* 84, 213-227.

2134 c) *Las tierras bajas detríticas de Medina, Pinares y Arévalo.*

Al sur de los Montes Torozos y el Duero, se extiende un amplio sector de tierras bajas que transcurren por el O de Segovia, N de Ávila y NE de Salamanca, SE de Zamora, hasta encontrarse por el S con las elevaciones satélite del Sistema Central (Santa María la Real de Nieva). Están drenadas de O a E por el Guareña, Trabancos, Zapardiel, Eresma, Cega y Duratón. Se distinguen tres unidades de E a O:

- Tierra de Pinares, entre el Cea y el Voltoya.
- Campiñas de Arévalo, Coca, Madrigal de las Altas Torres.
- Campiñas de la Armuña y Tierra de Vino Zamorana.

La Tierra de Pinares discurre entre el Cea y el Voltoya, con una extensión por el NE hasta el Duratón. A pesar de que la altitud oscila entre 700 y 1000m, la isometría es todavía más plana que en la Tierra de Campos; por el N, destacan algunas muelas en el contacto con los páramos de Cuéllar-Campaspero, mientras hacia el S abundan los afloramientos paleozoicos y mesozoicos que prolongan las Serrezuelas. El Mioceno es muy diverso, con claro dominio arcillo-arenoso.

En la morfogénesis de la Tierra de Pinares predomina (a) una disección fluvial antigua, poco profunda pero eficaz en el ensanche de los valles, que ha logrado reducir los interfluvios a finas cuerdas o cerros desgajados, que destacan tan solo unas decenas de metros sobre la llanura. Este arrasamiento fluvial se produjo al margen y con anterioridad a los valles actuales, dejando colgada 40 m a la campiña sobre sus fondos (b) El segundo elemento generador de formas es la reciente tectónica de basculamientos, que explicaría en buena medida el desnivel referido y la tónica general del modelado de valles fuertemente asimétricos (Pérez González 1989⁷², 1982⁷³). Y, finalmente, (c) un recubrimiento generalizado de arenas; el primer reconocimiento de la génesis eólica de numerosas estructuras en la Tierra de Pinares fue la formulada por Hernández Pacheco (1923)⁷⁴ para los médanos de la Provincia de Segovia seguido por Bravard (1965)⁷⁵. Casas *et al.* (1972)⁷⁶ y Alcalá del Olmo (1972)⁷⁷ aportan la evidencia de los análisis mineralógicos.

72 Pérez González, A., (1989). Depresión del Duero. En Bielza de Ory, V. (Coord). Territorio y sociedad en España I. Geografía Física. Taurus 162-175. Madrid.

73 Pérez González, A., (1982). El cuaternario de la región central de la Cuenca del Duero y sus principales rasgos geomorfológicos 711-740. Guía de Excursiones. I Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero. Salamanca, 1979. Temas Geológico Mineros. Parte II. IGME. Madrid.

74 Hernández Pacheco, F., (1923). las arenas voladoras de la provincia de Segovia. Bol R. Soc. Esp. Hist. Nat. 23, 211-216. Madrid.

75 Bravard, I., (1965). Notes Morphologiques sur la Tierra de Pinares (province de Segovie. Espagne). Rev. Geogr. Alpina. 53, 245-264.

76 Casas, J., Leguey, S., Rodríguez Martínez, J., (1972). Mineralogía y sedimentología de los arenales que recubren el terciario entre los ríos Pinzón y Voltoya (Segovia), Estudios Geológicos, 28, 287-296.

77 Alcalá del Olmo, L., (1972). Estudio sedimentológico de los arenales de Cuellar (Segovia). Estudios geológicos. 28, 345-358.

Las arenas proceden del desmantelamiento y arrastre de materiales traídos por los ríos de la Cordillera Central en largo transporte, horadadas de los valles por el viento y esparcidas sobre la campiña. Las arenas son el elemento clave del modelado de esta zona, a pesar de su modesto espesor (10-15 m). Su acumulación ha suavizado las irregularidades del relleno, acentuando la planitud. Otras formas asociadas comunes son: cubetas de deflación (Cubeta de Nava del Rey), mantos eólicos (superficie de Coca) y campos de dunas, casi siempre parabólicas y de pocos metros de altura, agrupadas o separadas por hoyas que albergan charcas y lagunas. La extensión de las arenas va más allá de la Tierra de Pinares, acumulándose en los páramos, valles y cuestas del sur del Duero con una representación más marginal.

La Tierra de Pinares enlaza por el O con las campiñas de Arévalo-Madrigal de las Altas Torres. Se trata de llanuras muy abiertas y con reducidos interfluvios, donde desaparecen las muelas y los promontorios paleozoicos y mesozoicos. El relleno de la campiña se ha verificado a base de modestas placas de arenas sobre los que resaltan pequeños cerros (60 m) de cima llana, a causa de los tapices resistentes de guijaral de antiguos os lechos fluviales.

Las campiñas del sur se funden por el O con las campiñas salmantinas de La Armuña y la Tierra del Vino zamorana. Los rasgos generales de llanura permanecen, a la par que aumentan accidentes topográficos locales de detalle: acarcavamientos, plataformas y escalonamientos sobre una variada geología y litología del Mioceno y del Terciario más antiguo. Afloran arenas, areniscas, arcillas y margas con distinto comportamiento, siendo el de las areniscas, proclives a los peldaños, el más original. La red de afluentes directos del Duero y del Tames es densa y orgánica, modelando finas cuerdas o muecillas desgajadas en las areniscas.

2135. CUENCA DE ALMAZÁN

La Cuenca de Almazán es una extensa depresión intramontañosa encuadrada por la Sierra de Cameros (N), la rama N del Sistema Ibérico Aragonés (E) y la Sierra de Ayllón del Sistema Central (S). Comunica con el centro de la depresión por el corredor abierto por el Duero sobre los sedimentos terciarios desde Almazán, Burgo de Osma, Aranda de Duero hasta Peñafiel. El agente modelador principal ha sido el erosivo, llegando a exhumar el sustrato mesozóico-paleógeno / Burgo de Osma, Berlanga o Soria. Por lo tanto, el relieve consta de materiales paleozoicos, mesozoicos y terciarios.

Los más antiguos tienden a formar relieves residuales aislados, de tipo inselberg. Las calizas mesozoicas han sufrido importantes procesos de karstificación en dolinas, tubos kársticos y cavernas colapsadas, nítidas en la vertiente septentrional y mas difusos en la meridional, en lo que Molina y Armenteros (1986)⁷⁸ reconocen como arrasamientos del

78 Molina, E., Armenteros, I., (1986). Los arrasamientos pliocenos y pleistocenos del sector sur-oriental de la Cuenca del Duero. *Studia Geológica Salmanticensia*. 22. 293-307.

mesozoico. En síntesis, se establecen dos planos de erosión, uno plioceno (superficie superior) y otro más moderno (superficie inferior), bases de arrasamiento a las que están asociadas procesos de relleno de la cuenca por medio de abanicos aluviales coalescentes.

La erosión cuaternaria modela los valles de los ríos principales: el Duero y el Jalón. Entre Soria y San Esteban de Gormaz, el Duero se adapta a fracturas estructurales que le obligan a bruscos cambios de dirección. La sección transversal del río es asimétrica, en unos tramos más desarrollada en la vertiente S y en otros en la N; así, por ejemplo, entre San Esteban de Gormaz y Peñafiel las terrazas se escalonan en la margen S, indicando el desplazamiento del río hacia el N, provocado por el hundimiento de la zona central de la cuenca del Duero (Hernández Pacheco, 1932, *Cit. supra*)

2140. APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN EN ESTUDIOS DEL RELIEVE.

Las técnicas de observación remota aplicadas al reconocimiento del relieve utilizan las mismas fuentes de observación y registro de la energía reflejada o emitida por las superficies que cualquier otra aplicación. Lo específico de cada aplicación es el análisis que se haga de los datos correspondientes a las longitudes de onda propias de la reflectividad o emisividad de cada superficie. Las regiones del espectro electromagnético con mayor interés para geólogos y geomorfólogos son las del visible, el infrarrojo cercano, infrarrojo térmico y la región de las microondas (Goetz y Rowan, 1981)⁷⁹.

¿Qué mejoras aporta la teledetección a las convencionales observaciones estereoscópicas?: los pares en blanco y negro limitan su capacidad de contraste a una pequeña sección del espectro visible, entre 0.51 μm y 0.68 μm . La disponibilidad de fotografías aéreas en color o color-infrarrojo no es generalizada o se realizan vuelos muy específicos con objetivos concretos no globales.

Por contraste, el barrido de los satélites proporciona datos en múltiples bandas. En el caso de Landsat TM, por ejemplo, cada escena tiene la siguiente información, según los rangos energéticos del espectro electromagnético:

- Tres bandas en el visible (0.45-0.52 μm , 0.52-0.6 μm , 0.63-0.9 μm);
- Dos bandas en el infrarrojo (0.76-0.9 μm para el infrarrojo cercano y 1.55-1.75 μm para el infrarrojo medio).
- Una banda en el térmico (10.40-12.50 μm)
- Otra banda en el infrarrojo medio (2.8-3.35 μm).

79 Goetz, A.F., Rowan, L.C., (1981). *Geologic Remote Sensing*. Science., v. 211, n. 4484. Pp. 781-791.

La teledetección se ha aplicado con éxito creciente a un buen número de disciplinas relacionadas con la geología, tanto con sensores de alta como de baja resolución: cartografía geológica, explotación minera, ingeniería, riesgos, glaciología, geomorfología, geobotánica, geología planetaria o arqueológica. La revisión bibliográfica de esta aplicación resulta en sí misma una tarea inabarcable. Williams *et al* (1983)⁸⁰ cita 1058 trabajos de aplicación; si añadimos otros 15 años de avances y mejoras, el tema puede resultar inabarcable.

Citamos como puntos de consulta en la red mundial de comunicaciones el Servicio Geológico de los Estados Unidos <http://usgs.org/> y el CEO (*Centre for Earth Observation*) en la Unión Europea. Esta última institución ha construido un catálogo de instituciones y aplicaciones de la teledetección en Europa. El protocolo de acceso por red es <http://ewse.ceo.org/>; de este fondo de información destacamos la base de aplicaciones de la que aportamos dos ejemplos.

1. Prospección del terreno montañoso del Este de Turquía, mediante imágenes Landsat MSS SPOT XS y radar ERS, para obtener la fisiografía, litología, líneas estructurales y aproximación a yacimientos de hidrocarburos. (Ref: 619400, Nigel Press Associates. Crockham park, Edenbridge Kent, UK. TN8 6SR)
2. Análisis litoestructural de la cuenca del Ebro mediante el modelo digital de elevación e imágenes SPOT Pan y SPOT XS. La perspectiva tridimensional del MDE ayuda a determinar las líneas estructurales (Ref: 619033, ISTAR, S.A.; Sophia Antipolis, 06560 Valbonne, FR)

Como es conocido, el acceso inicial a los fondos de documentación de la red permite derivar hacia puntos de información relacionados con el mismo tema, como el siguiente: <http://TerraWeb.wr.usgs.gov>

Esta base de información ofrece ejemplos de aplicaciones de la observación remota a áreas tales como paisajes áridos o semiáridos, relieves costeros, bases de datos de elevaciones del terreno, conexión permanente con departamentos gubernamentales e industrias de observación remota de Estados Unidos y Europa que aplican la teledetección a las ciencias de la tierra como por ejemplo NASA, *Space Imaging EOSAT*, *SPOT Image*, *Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)*, *The Institute for Computational Earth System Science (ICESS)*, y un largo etcétera.

80 Williams, R.S. Jr., (20 colaboradores), (1983). Geological applications. En Colwell, R., (1983). *Manual of Remote Sensing*, Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry.

2200. ANÁLISIS DE RECURSOS CLIMÁTICOS

2210. INTRODUCCIÓN: ELEMENTOS DE CONTROL CLIMÁTICO

El clima de Castilla y León hay que entenderlo dentro de un área más amplia, a la que pertenece la mitad norte de la península, que a su vez se integra en la zona de los climas templados del globo. Los factores de control y caracterización climática de Castilla y León están condicionados en primer lugar por la latitud, ubicada en un ámbito subtropical, en la fachada occidental de una masa continental y parcialmente resguardada de la acción oceánica por la orografía local ya descrita.

En términos climáticos, Castilla y León pertenece al dominio mediterráneo, por encontrarse en la zona de enfrentamiento entre las altas presiones subtropicales y las bajas presiones subpolares, que originan las perturbaciones asociadas al frente polar. La posición de Castilla y León en el tercio meridional del continente europeo le hace partícipe de las condiciones térmicas y dinámicas de las masas de aire tropicales marítimas, tropicales continentales, polares oceánicas y, más ocasionalmente polares continentales, cuando estas masas de aire se mueven en los límites meridionales máximos de su área de circulación.

Pero a pesar de los elementos globales rectores de la dinámica climática de la zona, el carácter más singular es la continentalidad. La configuración del relieve de Castilla y León es el principal responsable del carácter extremado del clima. Aunque su latitud se corresponde con las tierras templadas del tercio norte de Portugal o con las de Cataluña y Galicia, la distancia al mar y las barreras orográficas anulan casi toda posible suavización térmica. La localización en el interior de la Península Ibérica favorece la existencia de dilatados umbrales de oscilación térmica anual (de 15 a 18° C).

Por lo que respecta a las temperaturas medias, la amplitud térmica no implica necesariamente que el invierno sea muy frío y el resto del año tan distinto que deba considerarse como cálido: la temperatura media del mes más frío (enero) es de 2,7°C, y la del mes más cálido (agosto), de 20°C. En realidad, el carácter frío o fresco es un rasgo característico del clima castellano leonés debido a la elevada altitud, ya que dos tercios de su extensión se hallan entre 600 y 1000m sobre el nivel del mar.

En cuanto a las precipitaciones medias anuales, oscilan entre los 400 y 600 mm en las llanuras de la depresión central, y superan los 1000 mm en numerosos puntos del cingulo montañoso. Los valores medios anuales de precipitación y temperatura solo proporcionan una aproximación somera a una realidad mucho más rica en matices. El clima castellano-leonés hay que analizarlo y entenderlo dentro del amplio contexto del dominio climático mediterráneo. Puede resultar paradójica la asociación de comportamientos climáticos extremos con las características mediterráneas, asociadas, en términos generales, a aspectos de bonanza térmica. Sin embargo, la aridez estival y la irregularidad termopluviométrica anual, características primordiales del clima mediterráneo, también afectan a la mayoría del espacio castellano-leonés, que es surcado por las mismas masas de aire, centros de acción y perturbaciones atmosféricas

que el resto de dicho dominio. La sinopsis climática propia del dominio mediterráneo queda articulada por las altas presiones invernales (1023 mb) del anticiclón continental o el de las Azores: el tiempo invernal dominante es de cielos despejados con nieblas matinales, dispersadas por un claro sol en las horas centrales del día, que consigue entibiar momentáneamente las temperaturas hasta que vuelven a caer acusadamente durante la noche.

La misma continentalidad da lugar a calurosos veranos. Durante el verano, el anticiclón de las Azores se desplaza hacia latitudes más altas hasta situarse frente a las costas atlánticas de la península cerrando el paso, o dificultándolo, a las borrascas atlánticas. Por contraste, en las estaciones intermedias de primavera y otoño, el anticiclón de las Azores se encuentra en su posición meridional habitual permitiendo la entrada de las borrascas asociadas al frente polar. Los máximos pluviométricos se registran en estos periodos.

La lectura de los datos climáticos de Castilla y León adquiere su verdadero significado al considerar la ubicación topográfica de las estaciones de muestreo. De nuevo, la topografía plasma los mayores contrastes climáticos en la dualidad entre llanuras y montañas; además, también se deben de resaltar las diferencias climáticas impuestas por la latitud y la longitud, en una región tan amplia como la considerada.

A continuación, trataremos de avalar esta descripción general de los elementos que rigen el clima en Castilla y León con los contenidos de dos fuentes de datos: la primera fuente corresponde a los análisis climáticos realizados por expertos sobre series ortodoxas de datos climáticos de, al menos, 50 años. Recurrimos a estudios reconocidos por no ser este un objetivo primordial de nuestro trabajo (Tabla 2.1). La segunda fuente de evidencia de los caracteres climáticos de Castilla y León será la serie de registros termopluviométricos tratados en este estudio. Se trata de los datos registrados durante el periodo 1990-97, en 60 estaciones completas (Tabla 2.2) distribuidas a lo largo de la región, según la localización mostrada en la figura 2.10.

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Med
Zamora	649 T	4.2	5.8	8.3	10.8	14.1	18.4	21.5	21.2	27.4	13.1	7.6	4.3	12.3
	P	41.2	36.3	34.9	31.6	38.3	35.7	12	10.5	27.4	36.7	39.4	40.8	385
Valladolid	700 T	3.8	5.4	8.1	11.4	13.8	18	21.2	20.8	17.8	12.8	7.4	4.1	12
	P	42.8	32	44.1	34.3	43.2	35.5	16.3	12.9	31.4	33.6	45.9	40.1	413
Burgos	929 T	2.8	4.1	6.8	8.9	12.3	16.0	19.1	18.9	16.3	11.4	6.4	3.5	10.6
	P	51.1	42.2	53.3	50.1	60.6	50.5	27.2	24.7	39.9	52.6	55.7	51.4	559
Soria	1063 T	2.6	3.6	6.1	8.5	11.8	16	19.6	19.4	16.3	11.1	6	3.1	10.4
	P	49.5	48.2	47.6	48.9	57.7	53.9	29.3	27.1	44.6	45.2	53.8	50.2	556
Avila	1131 T	2.9	3.6	5.9	8.1	12	16.1	19.9	19.6	16.3	10.8	5.9	3.3	10.4
	P	25.1	20.7	26.8	34.4	46	37.4	12.6	14.7	32.3	36.8	34.2	31	352
León	920 T	3	4.3	7	9.2	12.2	16.6	19.5	19.2	16.5	11.7	6.7	3.4	10.8
	P	61.4	55.5	50	46.9	51.4	40.7	22.4	18.5	37.2	51.2	55.3	60.4	550
Palencia	739 T	3.6	5.0	7.8	10.0	13.3	17.7	20.8	20.6	17.5	12.4	7.3	4.0	11.7
	P	35.4	29.1	35.3	25.9	43.6	43.2	15.8	14.1	31.8	37.1	37.1	34.4	392
Segovia	1002 T	3.1	4.5	7.3	9.5	3.0	17.9	21.6	21.2	17.5	12.1	6.7	3.3	11.5
	P	44.2	36.1	41.8	43.1	56.0	41.6	22.0	13.6	36.7	43.2	48.6	40.3	467
Salamanca	797 T	4	5.3	7.8	10.3	13.7	18.1	21.4	21.0	17.9	12.5	7.4	4.3	12.0
	P	43.9	34	45	34.1	42.1	31.4	15.2	12.5	27.1	43.4	49.5	46.2	434

Peguerinos (Av)	1351 T	0.3	1.1	3.1	5.7	10.3	15.0	19.1	18.3	13.9	8.5	2.0	0.4	8.2
	P	85.2	85.1	76.1	75.9	74.1	54.7	15.8	17.3	53.1	99.1	92.2	99.2	827
La Pinilla (Se)	1880 T	2.7	3.4	4.2	5.8	9.9	14.4	18.3	18.8	14.6	9.1	5.2	3.0	9.1
	P	138	196	130	123	153	94	41	46	57	112	128	1877	1395
Camporredondo(Pa)	1253 T	0.8	1.8	4.2	6.5	9.5	13.3	16.5	16.4	13.9	9.4	4.8	1.5	8.2
	P	136	104	110	79.8	85	62.2	31.9	32.1	60.6	90.6	129	128	1049
Vinuesa (So)	1326 T	0.1	1.3	3.6	5.5	10.1	13.1	16.1	16.4	13.8	8.1	3.1	0.3	7.7
	P	127	128	127	87.7	76.3	80.4	22	21.1	65.8	105	137	162	1141
Cárdena (Za)	1600 T	-0.7	-0.5	1.2	3.8	7.4	11.6	15.1	14.7	11.9	7.3	2.8	0.1	6.2
	P	192	188	172	117	121	68.1	27.8	27.5	70.1	153	195	200	1533
La Granja (Se)	1191 T	3.9	4.9	6.6	9.4	13.6	18.1	22.1	21.7	18.1	12.6	6.7	4.0	11.8
	P	74.7	84.4	77.1	91.1	87.7	67.2	29.7	21.4	50.3	77.5	89.8	76.3	828
Arenas (Av)	510 T	3.5	4.8	7.1	9.3	12.8	17.2	20.3	19.7	16.1	11.3	6.2	4	11
	P	219	217	151	106	93.3	52.4	9.9	14.2	61.3	161	184	214	1487

Tabla 2.1 Temperaturas y precipitaciones medias mensuales y anuales de capitales de provincia de Castilla y León.
Fuente: MAPA caracterización agroclimatológica de España para las distintas provincias (1, edición 1991. 2, edición 1987. 3, datos inéditos de Buendía Moya, G. et al, "Introducción al clima de la Cuenca del Duero".

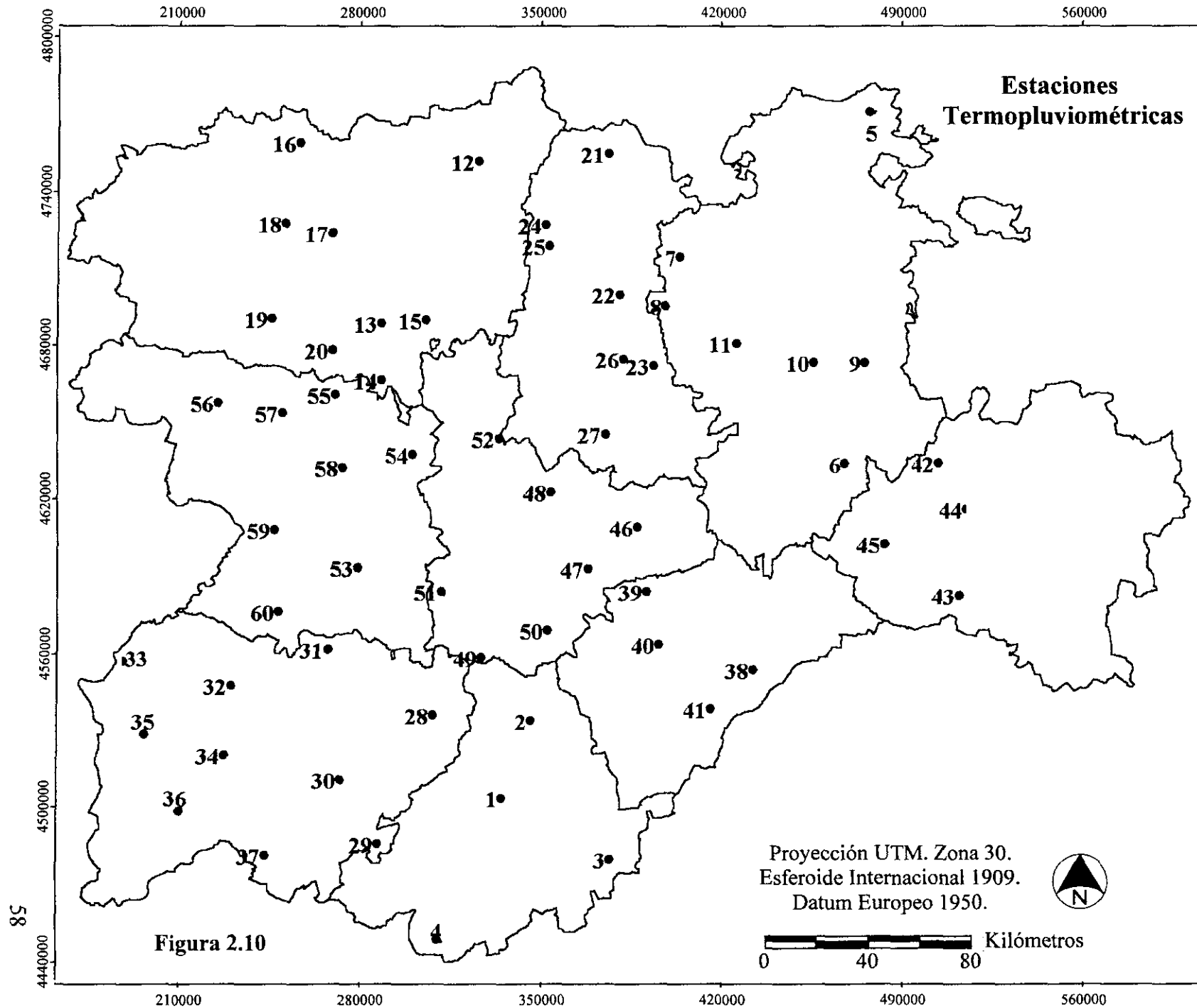
	Código	Nombre Estación	Provincia	Altitud	Latitud	Longitud
1	2450	Cillan	Avila	1212	404220N	045842W
2	2514E	Palacios de Goda	Avila	820	410705N	044712W
3	3330	El Tiemblo	Avila	580	402440N	042627W
4	3417	Candeleda El Rincón	Avila	340	400625N	051107W
5	1077P	Villasana de Mena	Burgos	312	430555N	031702W
6	2114	Hontoria de Valdearados -	Burgos	870	414550N	033017W
7	2269U	Melgar de Fernamental	Burgos	806	422540N	041437W
8	2284	Humada	Burgos	959	424010N	040507W
9	2319	Pantano de Arlanzón	Burgos	1140	421650N	032022W
10	2345	Albillos	Burgos	831	421635N	034727W
11	2347	Coculina	Burgos	985	423445N	035337W
12	2626	Cistierna	León	951	424815N	050737W
13	2664	Valencia de Don Juan	León	763	421740N	053107W
14	2667	Prioro	León	1123	425335N	045737W
15	2679U	Gordoncillo	León	748	420805N	052412W
16	2697	Rabanal de Luna	León	1150	425555N	055817W
17	2717	Carrizo de La Ribera	León	871	423505N	054947W
18	2728	Villameca	León	978	423830N	060427W
19	2742	La Bañeza	León	771	421800N	055407W
20	2744	Tabuyo del Monte	León	1020	421752N	061247W
21	2232	Pantano de Requejada	Palencia	1024	425430N	043147W
22	2278	Osorno	Palencia	809	422440N	042147W
23	2293A	Astudillo	Palencia	784	421140N	041737W
24	2369E	Celadilla del Río	Palencia	986	423630N	044747W
25	2370	Saldaña	Palencia	912	423125N	044407W
26	2386	Monzón de Campos	Palencia	754	420700N	042937W
27	2403	Venta de Baños	Palencia	720	415510N	042942W
28	2552	Villar de Gallimazo	Salamanca	841	405845N	051837W
29	2839U	Armenteros	Salamanca	1052	403535N	052657W
30	2847	Pedrosillo de Los Aires	Salamanca	860	404025N	053827W
31	2879E	Tabera de Abajo	Salamanca	821	405700N	060007W
32	2893	Villarmuerto	Salamanca	767	410320N	062147W
33	2901	Salto de Saucelle	Salamanca	116	410240N	064837W
34	2915	El Cubo de Don Sancho	Salamanca	770	405000N	061712W
35	2926A	Bañobarez	Salamanca	743	405100N	063647W
36	2946I	Saelices El Chico	Salamanca	680	403813N	063758W
37	3492E	Herguijuela de La Sierra	Salamanca	648	402640N	060427W

38	2183	Santiuste de Pedraza	Segovia	1104	410520N	035312W
39	2192D	Cuellar, Cega	Segovia	795	412200N	041600W
40	2208	Sanchonuño	Segovia	803	411925N	041817W
41	2465	Segovia 'Observatorio'	Segovia	1005	405700N	040737W
42	2010	Abejar	Soria	1130	414830N	024712W
43	2071	Bayubas de Abajo	Soria	1000	413240N	025542W
44	2087	Abioncillo de Calatañazor	Soria	995	414210N	025202W
45	2096	Liceras	Soria	1020	412245N	031437W
46	2172	Sardón de Duero	Valladolid	720	413700N	042437W
47	2215	Arrabal de Portillo	Valladolid	758	412820N	043547W
48	2409B	Valladolid 'Zamadueñas'	Valladolid	700	414255N	044127W
49	2516	Ataquines	Valladolid	802	411055N	045022W
50	2519	San Vicente del Palacio	Valladolid	746	411305N	045107W
51	2531E	Castroñuño 'Presa San José'	Valladolid	660	412415N	051627W
52	2604	Medina de Rioseco	Valladolid	749	415300N	050237W
53	2579	Castroverde de Campos	Zamora	707	415810N	051857W
54	2588	Tapioles	Zamora	691	415120N	052947W
55	2753E	Manganeses de La Polvorosa	Zamora	716	420205N	054447W
56	2775	Villardecervos	Zamora	864	415630N	061722W
57	2779E	Santa Croya de Tera	Zamora	726	415900N	055827W
58	2787	Granja de Moreruela	Zamora	700	414855N	054647W
59	2802	Salto de Ricobayo	Zamora	702	413135N	055907W
60	2886	Carbellino de Sáyago	Zamora	767	411355N	060852W

Tabla 2.2 Relación de estaciones termopluviométricas completas consideradas en el estudio.

	Código	Nombre Estación	Provincia	Altitud	Montaña	Llanura
1	2450	Cillan	Avila	1212	X	
2	3330	El Tiemblo	Avila	580		X
3	2269U	Melgar de Fernamental	Burgos	806		X
4	2319	Pantano de Arlanzon	Burgos	1140	X	
5	2679U	Gordoncillo	León	748		X
6	2697	Rabanal de Luna	León	1150	X	
7	2232	Pantano de Requejada	Palencia	1024	X	
8	2403	Venta de Baños	Palencia	720		X
9	2839U	Armenteros	Salamanca	1052	X	
10	2946I	Saelices El Chico Enusa	Salamanca	680		X
11	2183	Santiuste de Pedraza	Segovia	1104	X	
12	2192D	Cuellar, Cega	Segovia	795		X
13	2010	Abejar	Soria	1130	X	
14	2087	Abioncillo de Calatañazor	Soria	995	P	
15	2516	Ataquines	Valladolid	802	P	
16	2531E	Castroñuño 'Presa San José'	Valladolid	660		X
17	2588	Tapioles	Zamora	691		X
18	2775	Villardecervos	Zamora	864	P	

Tabla 2.3 Estaciones seleccionadas para ejemplificar características climáticas en Castilla y León, zonales (llanura, páramo, montaña) o estacionales.

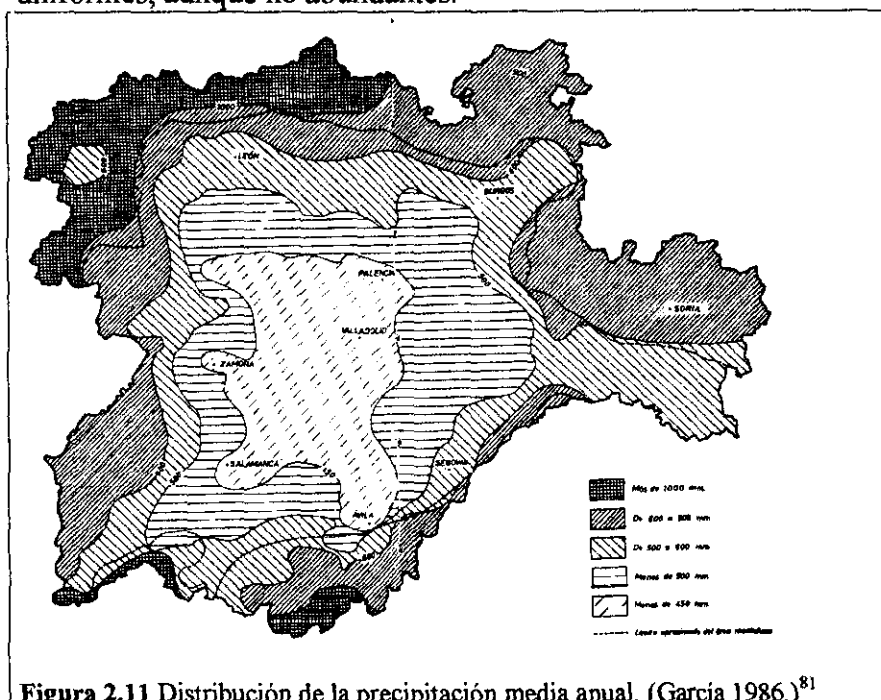


- 1.CILLAN
- 2.PALACIOS DE GODA
- 3.EL TIEMBLO
- 4.CANDELEDA
- 5.VILLASANA DE MENA
- 6.HONTORIA DE VALDEARADOS
- 7.MELGAR DE FERNAMENTAL
- 8.HUMADA
- 9.PANTANO ARLANZON
- 10.ALBILLOS
- 11.COCULINA
- 12.CISTIerna
- 13.VALENCIA DE DON JUAN
- 14.PRIORO
- 15.GORDONCILLO
- 16.RABANAL DE LUNA
- 17.CARRIZO DE LA RIBERA
- 18.VILLAMECA
- 19.LA BAÑEZA
- 20.TABUYO DEL MONTE
- 21.PANTANO REQUEJADA
- 22.OSORNO
- 23.ASTUDILLO
- 24.CELADILLA DEL RIO
- 25.SALDAÑA
- 26.MONZON DE CAMPOS
- 27.VENTA DE BAÑOS
- 28.VILLAR DE GALLIMAZO
- 29.ARMENTEROS
- 30.PEDROSILLO
- 31.TABERA DE ABAJO
- 32.VILLARMUERTO
- 33.SALTO DE SAUCELLE
- 34.EL CUBO DE DON SANCHO
- 35.BAÑOBAREZ
- 36.SAELICES EL CHICO
- 37.HERGUIJUELA DE LA SIERRA
- 38.SANTIUSTE DE PEDRAZA
- 39.CUELLAR, CEGA
- 40.SANCHONUÑO
- 41.SEGOVIA
- 42.ABEJAR
- 43.BAYUBAS DE ABAJO
- 44.ABIONCILLO
- 45.LICERAS
- 46.SARDON DE DUERO+G62
- 47.ARRABAL DE PORTILLO
- 48.VALLADOLID 'ZAMADUEÑAS'
- 49.ATAQUINES
- 50.SAN VICENTE DEL PALACIO
- 51.CASTRONUÑO
- 52.MEDINA DE RIOSECO
- 53.CASTROVERDE DE CAMPOS
- 54.TAPIOLES
- 55.MANGANESES
- 56.VILLARDECIERVOS
- 57.SANTA CROYA DE TERA
- 58.GRANJA DE MORERUELA
- 59.SALTO DE RICOBAYO
- 60.CARBELLINO DE SAYAGO

2220. ANÁLISIS DE LAS PRECIPITACIONES

2221. ESTACIONALIDAD DE LAS PRECIPITACIONES

Una vez más hay que tener en cuenta la determinación que imprimen las grandes unidades fisiográficas de Castilla y León en la cuantía de las precipitaciones: por una parte, las montañas castellano-leonesas se encuentran a resguardo de las masas de aire húmedo Atlántico, por lo que reciben menos precipitación que las vertientes cántabras de las mismas formaciones; por otra parte, la ausencia de grandes desniveles en la cuenca hace que las cantidades precipitadas en la cuenca sean, por lo general, uniformes, aunque no abundantes.



Los registros de precipitaciones medias anuales en Castilla y León aumentan en sentido centro-periferia (Figura 2.11); el sector menos lluvioso (300-400mm) queda comprendido entre Ávila, Salamanca, Zamora, Palencia y Valladolid. Alrededor de este núcleo, la isoyeta de 600 mm engloba León, Burgos, la cuenca de Almazán, Segovia y su páramo y la fosa de Ciudad Rodrigo. Entre 600 y 1000 mm reciben las comarcas occidentales de Salamanca, las parameras de Zamora, León, N de Palencia y Burgos así como las elevaciones de la Ibérica en Soria y el Sistema Central, salvo Gredos, que supera los 1000 mm. Además, en el rango de precipitaciones superiores a 1000 mm hay que incluir las elevaciones de la Peña de Francia y Gata y las montañas del W y N de León y Palencia. Dentro de estas grandes áreas habría que resaltar salvedades locales como la fosa del Tietar (300-500 mm), la fosa de Amblés Valdecorneja en la Sierra de Ávila (400-600 mm), la fosa de Tormes-Alberche (600-700 mm).

El análisis de las precipitaciones mensuales tiene gran importancia sobre los ritmos de crecidas y estiajes de las cuencas hidrográficas, en las posibles alteraciones y

⁸¹ García Fernández, J. (1986): El clima en Castilla y León. Ambito. Valladolid.

oscilaciones fenológicas de las especies naturales y cultivos y, por tanto en su respuesta espectral.

Los valores de las precipitaciones medias mensuales revelan información más detallada de los ritmos pluviométricos: los aportes más cuantiosos se contabilizan en los meses de invierno en las estaciones del reborde montañoso y en las llanuras adyacentes. Por contraste, la cuenca central registra los máximos pluviométricos en primavera. (Figura 2.12 y 2.13). Desglosamos a continuación las tendencias pluviométricas estacionales de las zonas llanas centrales, páramos y montañas.

2221 a) Régimen de precipitaciones invernales

El **invierno** castellano-leonés marca un máximo pluviométrico generalizado, absoluto en las montañas y secundario en las zonas llanas. En las llanuras centrales, el invierno se prolonga hasta 5 meses, en términos de temperatura, como explicaremos más adelante. Más de la mitad del total de precipitación anual se registra en esos meses, marcando el máximo secundario, ya que el absoluto para esta zona es en primavera.

En las zonas de montaña, la precipitación habida durante los meses de invierno (6-7 meses) es siempre superior a la mitad del total anual y, en algunos casos llega a contabilizar tres cuartas partes del total, con medias mensuales superiores a los 100 mm. Los siguientes diagramas pluviométricos de varias estaciones de registro elegidas como ejemplificación, muestran la dualidad de máximos pluviométricos estacionales entre las áreas de montaña y las llanuras en el año 1997 y 1994.

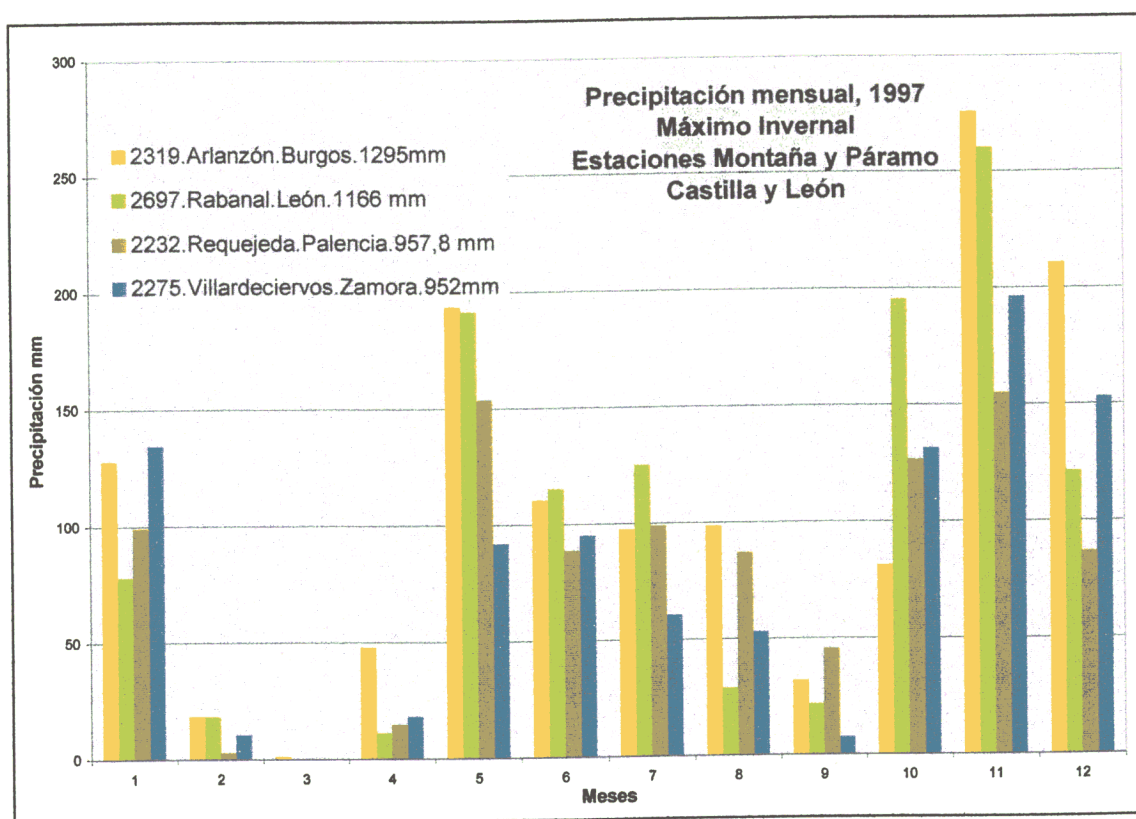


Figura 2.12 Registros de precipitaciones mensuales en 4 estaciones del área de estudio con máximos de precipitación invernal. Ejemplo año 1997. Fuente: elaboración propia. Datos: INM.

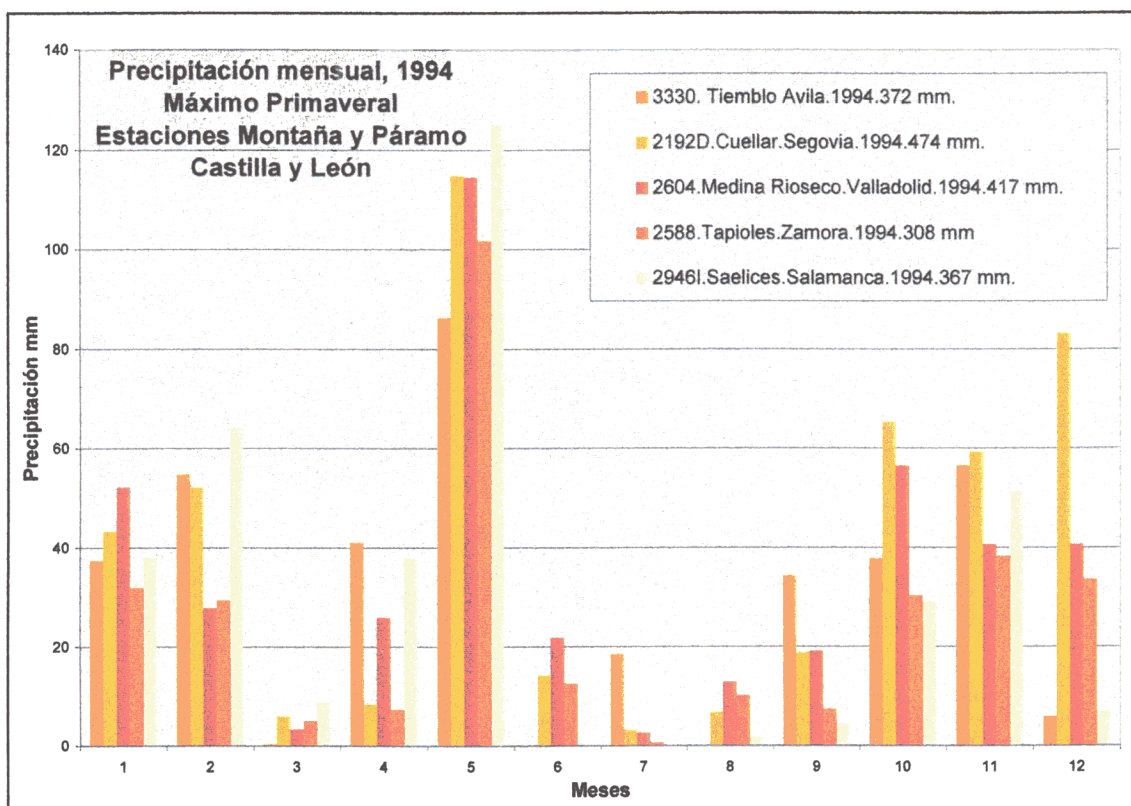


Figura 2. 13 Registros de precipitaciones mensuales en 5 estaciones del área de estudio con máximos de precipitación primaveral. Ejemplo año 1994. Fuente. Elaboración Propia. Datos: IMN.

Las causas de los máximos pluviométricos absolutos durante **el invierno** en las montañas o de un máximo secundario en las llanuras se debe a la circulación zonal estacional de frentes y borrascas asociados al frente polar, que se ven forzadas a ascender para salvar los relieves montañosos, lo que genera más inestabilidad y precipitación.

Las borrascas desarrollan los frentes (cálido y frío) en el seno de grandes campos de bajas presiones atlánticas. Estas masas de aire polar marino originan precipitaciones generalizadas y cuantiosas con que duran entre dos y diez días. Estos periodos de lluvias invernales son especialmente duraderos cuando las masas atlánticas del sudoeste entran en el territorio castellano-leonés. Sin embargo, cuando las borrascas con aire polar marino entran desde el noroeste, las temperaturas bajan y originan nevadas en las montañas y, en ocasiones, sobre las llanuras. Cuando se dan situaciones de entrada de bajas presiones de aire ártico marino desde el norte o de aire polar continental desde el nordeste las nevadas suelen ser generalizadas. La frecuencia media anual de presencia nieve es de unos seis días en las llanuras, algo más del doble en los páramos y de treinta a cincuenta en las montañas (Figura 2.14).

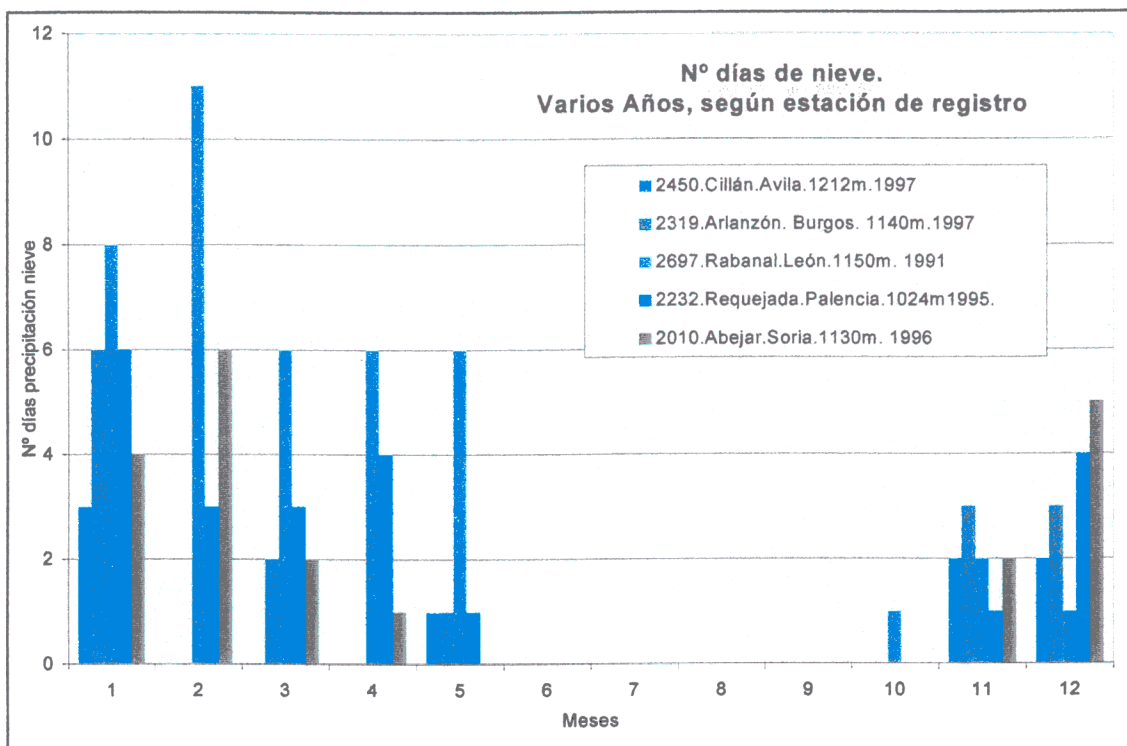


Figura 2.14 Número de días absolutos con nieve para los años y estaciones indicadas.

Otra fuente dinámica estacional de precipitaciones son las "gotas frías", derivadas de la interacción entre bajas y altas presiones; la cantidad precipitada es siempre menor que la aportada por las borrascas. Además, las precipitaciones que originan las gotas frías no suelen ser generalizadas simultáneamente en toda la Comunidad Autónoma y su cuantía resulta muy desigual territorialmente.

La acción de las gotas frías contribuye a la irregularidad característica del clima mediterráneo, pero no es el único elemento de irregularidad, ni tampoco el principal durante el invierno. En este aspecto, resulta más relevante la oscilación pluviométrica interanual, puesto que entre los mismos meses de distintos años (incluso consecutivos) las diferencias son muy marcadas. Como prueba de esa irregularidad, se ha constatado en las llanuras meses con una precipitación de 5 a 10 mm, solamente, mientras que en el mismo mes de otro año rebasa los 100 mm. y aún se acerca a los 200 mm., o bien en las montañas el mínimo rebasa en poco el volumen de 10 mm. y el máximo se halla en torno a 300 mm. Así pues, la irregularidad es nítida en el transcurso de los inviernos.

Estación	Irregularidad de precipitaciones invernales (mm). Años consecutivos.											
	Enero			Febrero			Noviembre			Diciembre		
	91	92	93	91	92	93	91	92	93	91	92	93
2269U. Melgar (Bu) 806 m.	40	13,9	5,3	??	4,4	17,7	45,1	8,1	50	7,7	96,9	31,6
2697.Rabanal (Le) 1150 m.	91,5	71	18,3	67	26,7	70,6	185	45,2	98	89	187	49
2403 Venta Baños (Pa) 720 m.	17,5	12,8	2,6	30,1	2,8	5	19,9	3,4	31,7	4	40	6
2946I. Saelices (Sa) 680 m.	49,6	26	0	48,6	2	6,3	32	10,4	58,4	20	42,6	7,2
2183. Santiuste (Se) 1104 m.	49,7	118,6	119,2	83,8	76,3	26	48,3	97,9	??	131,3	109,3	121
2516. Ataquines (Va) 802 m.	28,3	13,5	XX	36,4	5,5	1	20,6	7	22,8	13,2	27,8	5,5
2087. Abioncillo (So) 995 m.	28,2	8,2	4	76,8	13,6	9,5	73,2	8	33,2	6,3	96	27,2
2588 Tapioles (Za) 691 m.	35,8	19,8	31,9	39	1,2	6,8	15,2	6	31	9,8	37,2	9,7

Tabla 2.4 Irregularidad de precipitaciones de invierno, años consecutivos. Fuente: Elaboración propia. Datos: INM.

2221 b) Régimen de precipitaciones estivales.

La escasez de precipitaciones durante el verano es la tónica dominante y, en buena medida justificadora del carácter mediterráneo en Castilla y León, por la marcada aridez estival y el déficit hídrico asociado.

Aunque la duración del verano oscila en términos térmicos entre 2 y 4 meses a lo largo del territorio, julio y agosto son meses totalmente estivales en toda Castilla y León, tanto en términos de precipitación como de temperatura.

La precipitación media mensual de las áreas bajas oscila entre 10, 20 ó 30 mm, aunque no son extraños los registros nulos. En las montañas, los valores se duplican durante estos meses, con registros medios mensuales superiores a 60 mm. En ambos casos, llanos y montañas, la irregularidad es una nota dominante, tanto en el número de días de precipitación como en la intensidad y cantidad de agua aportada por las lluvias convectivas, propias de la estación de verano.

La irregularidad pluviométrica estival interanual proporciona un verano lluvioso de cada diez. Con más frecuencia se observa algún mes lluvioso entre los meses centrales del verano, que incluso ha llegado a contabilizar tantas precipitaciones como un mes de invierno. Los contrastes interanuales son máximos en el mes de septiembre, que puede resultar muy seco o muy lluvioso, sobre todo en la segunda quincena. La tabla 2.5 ejemplifica la irregularidad estival interanual en algunas de las estaciones de nuestro estudio.

Estación	Irregularidad de precipitaciones estivales (mm). Años consecutivos.											
	Junio			Julio			Agosto			Septiembre		
	92	93	94	92	93	94	92	93	94	92	93	94
2269U. Melgar (Bu) 806 m.	111,3	48,3	26,9	7,8	9,8	13,5	47,3	57,6	6,2	44,8	76	39,1
2697.Rabanal (Le) 1150 m.	100,2	94,5	31,4	14,9	29,2	27,5	118,6	49,8	30	29,2	71,9	45,8
2403 Venta Baños (Pa) 720 m.	70,2	44,5	11,8	3,4	2,5	8,6	24,1	17,5	21,8	24,6	53,5	16,4
2946I. Saelices (Sa) 680 m.	9,7	55	0	0,7	0	0	40	8,3	1,7	29,2	42,6	4,4
2183. Santiuste (Se) 1104 m.	2,5	75,1	0,2	17,4	12,7	11,3	0,8	12,5	24,9	33,5	45,8	51,5
2516. Ataquines (Va) 802 m.	38,1	33,1	9	14	12	3,7	24,5	9,7	1	14,1	31	4,7
2087. Abioncillo (So) 995 m.	83,4	33,2	20,2	19,7	1,2	6,1	20,6	14,9	31,7	38,3	29,6	28,9
2588 Tapioles (Za) 691 m.	23,2	35,3	12,5	12,5	0,5	0,6	46,1	21,2	10,1	23	53,4	7,3

Tabla 2.5 Irregularidad de precipitaciones de verano, años consecutivos. Fuente: Elaboración propia. Datos: INM.

En cuanto al número de días de precipitación, "la media de días con precipitaciones en los dos meses genuinamente estivales (julio y agosto) es de cuatro a seis días en las llanuras y de unos ocho en las montañas, pero en los veranos lluviosos de quince a veinte días por mes, mientras en los secos menos de cinco o ninguno" (Cabero, *et al.* 1996. T2. Pg 67)⁸². La ejemplificación de esta afirmación a partir de los datos del INM considerados en nuestro estudio resulta casi imposible por la falta de datos del número de días con precipitación durante los meses de verano. Esta es una más de las

⁸² Cabero, V., Cascos, C., Calonge, G. (1996). Geografía general de Castilla y León. Ed. Páramo, S.L. Madrid

inconsistencias del sistema tradicional de registro de datos meteorológicos, que llevan a vacíos de datos que restan consistencia y precisión a los estudios de series climáticas.

2221 c) La sequía estival

Una característica más de las precipitaciones estivales es su gran intensidad horaria a causa del rápido ascenso del aire inducido por dinámicas térmicas que condensan el vapor de agua; en estos casos, ni la nubosidad es continuada ni las precipitaciones duraderas. Se trata casi siempre de aguaceros que, en intervalos de una a cuatro horas, dan lugar a registros diarios cuantiosos de 5 a 10 mm., e incluso, excepcionalmente, se han recogido 30 y hasta 50 milímetros en pocas horas de un solo día.

En relación con las precipitaciones estivales, o más exactamente con la escasez de precipitaciones, debemos considerar la aridez en Castilla y León. Hemos apuntado ya las causas de la dinámica atmosférica responsables de la aridez estival en los anticiclones norteafricano y de las Azores.

La aridez estival queda en evidencia en los rasgos xerófilos de las especies que integran el paisaje vegetal, en la adecuada maduración de los cereales y la vid, favorecidos estos últimos por el gran número de horas de insolación. Durante un periodo más o menos prolongado, la precipitación resulta insuficiente para mantener el desarrollo de la vegetación. Pero la definición cuántica, absoluta y objetiva de la aridez es una cuestión de difícil solución, pues el hecho entraña numerosos elementos que impiden una aproximación unívoca.

En términos generales, se ha optado por considerar árido todo mes en el que la media de precipitaciones no dobla, al menos, la media de las temperaturas; a la par, numerosos autores han establecido *ratios* de aridez basados en proporciones más ajustadas entre la precipitación y la temperatura. Por ejemplo, Capel Molina (1982)⁸³ establece un criterio de aridez combinando elementos fitogeográficos, hidrográficos y climáticos, en el que los límites entre lo árido y lo semiárido quedan delimitados por las isoyetas de 250/200 mm, y se ajustarían en función de las temperaturas. López Bermudez (1985)⁸⁴ identifica la aridez con la escasez de precipitaciones o con el déficit hídrico (balance hídrico = precipitación - pérdidas hídricas por evaporación, filtración y/o escorrentía).

En el caso de Castilla y León, la aridez es casi omnipresente durante los meses de julio y agosto, con promedios de 10 a 20 mm en las llanuras y de 20 a 30 mm en el resto del territorio, donde solo son sobrepasadas en ciertos ámbitos montañosos. Sin embargo, los meses de junio y septiembre, la aridez decrece o es inexistente. De hecho, la aridez no se registra ni en junio ni en septiembre en las montañas, no sólo porque el promedio

83 Capel Molina J., (1982). La aridez en la Península Ibérica. Algunos mapas bioclimáticos. Homenaje almeriense al botánico Rufino Sagredo. Instituto de estudios Almerienses. Almería. pp.11-15.

84 López Bermudez, A. (1985). Sequía, aridez y desertificación en Murcia. Discurso de ingreso en la Academia Alfonso X el Sabio. 85 pp.

mensual suele sobrepasar los 40 ó 50 mm., sino, además, por la fisonomía del paisaje vegetal en el que no dominan los tonos ocres provocados por la sequía. Es éste uno de los varios criterios empleados para delimitar la duración e intensidad de la aridez estival. Se ha utilizado también el umbral de 30 mm. de media mensual, considerando áridos los meses con menor cuantía. Esto sería correcto si la distribución real de las precipitaciones correspondiera a lluvias de 1 mm. por día, pero la verdad es que las altas temperaturas y las habituales precipitaciones veraniegas en forma de unas pocas tormentas indican que el déficit hídrico para las plantas puede acaecer con medias superiores a 30 mm. mensuales.

La estimación general de la aridez no resulta del todo acertada para Castilla y León ya que, según ese criterio el mes de septiembre en las llanuras apenas registraría aridez, a pesar de que el índice es muy elevado durante la primera quincena, cambiando bruscamente durante la segunda y, por tanto encubriendo en la media mensual la realidad notable de la aridez del mes de septiembre a causa del déficit hídrico acumulado a lo largo de los meses anteriores.

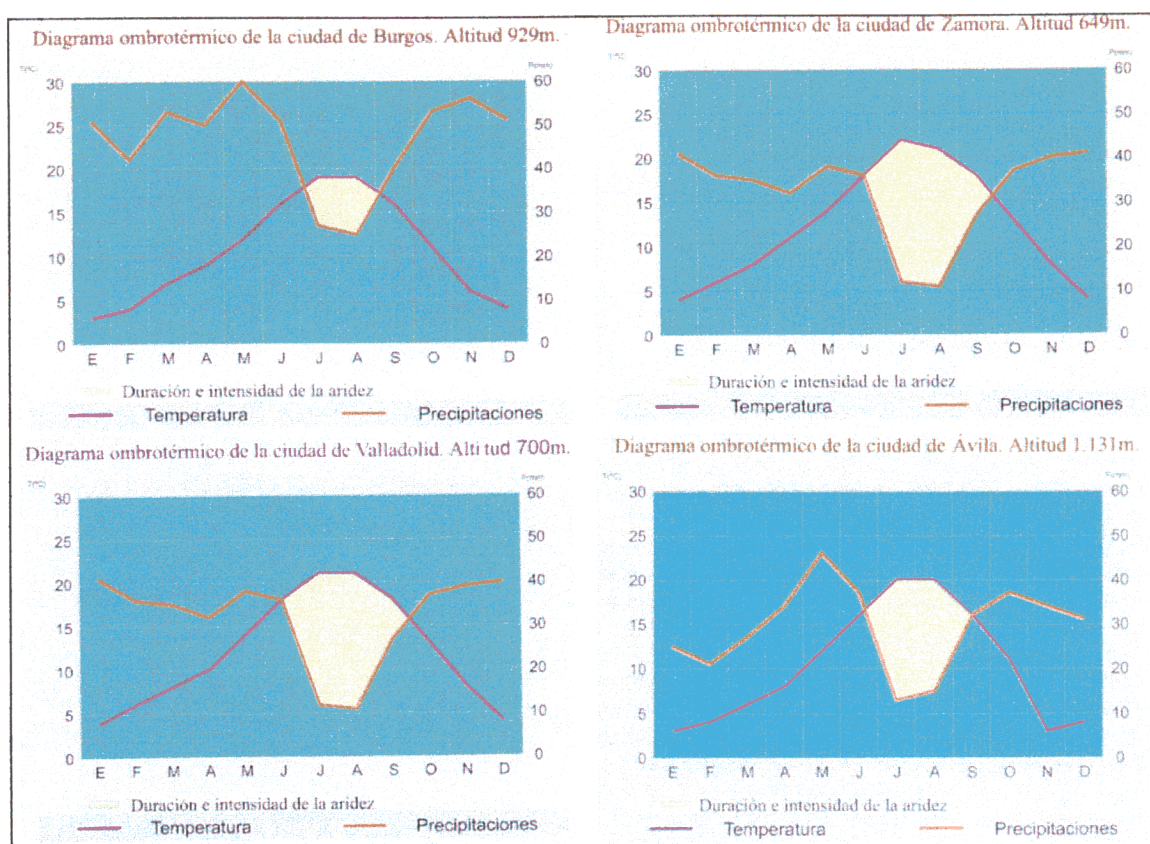


Figura 2.15 Diagramas ombrométricos destacando el periodo de aridez de cuatro observatorios. Fuente: Cabero, et al. 1996. Cit. supra. T. 2. pg. 90.

En términos fitogeográficos, la aridez estival también se demuestra por la persistencia de las tonalidades de sequía en la cobertura herbácea a lo largo del mes de septiembre en las llanuras. Este criterio fisonomista queda asimismo avalado por los valores del índice de vegetación.

2221 d) Régimen de precipitaciones de primavera

La primavera queda enmarcada por el ascenso de las temperaturas invernales y su permanencia entre los 10 y 15°C, lo que permite el comienzo y desarrollo del ciclo vegetativo de las plantas. En Castilla y León, la primavera no se extiende durante tres meses, sino que constituye una estación de transición, de dos meses (abril y mayo) en las llanuras y de unas ocho semanas en las montañas y páramos. Esta estación se manifiesta en primer lugar en las llanuras del oeste y del centro; en las montañas, se prolonga hasta el mes de junio, por lo que la transición al verano resulta indeterminada.

En términos hídricos y pluviométricos, la circulación de borrascas asociadas a frentes o gotas frías dejan tras de sí el máximo pluviométrico anual en las llanuras y parameras. Chubascos y aguaceros hacen de la primavera una estación lluviosa hasta el punto de que el mes de mayo en algunos puntos de las llanuras y de las estribaciones montañosas ostenta el promedio mensual más alto del año (Figura 2.16). Con frecuencia estas precipitaciones estacionales serán en forma de nieve, debido a la amplia oscilación térmica de esta época.

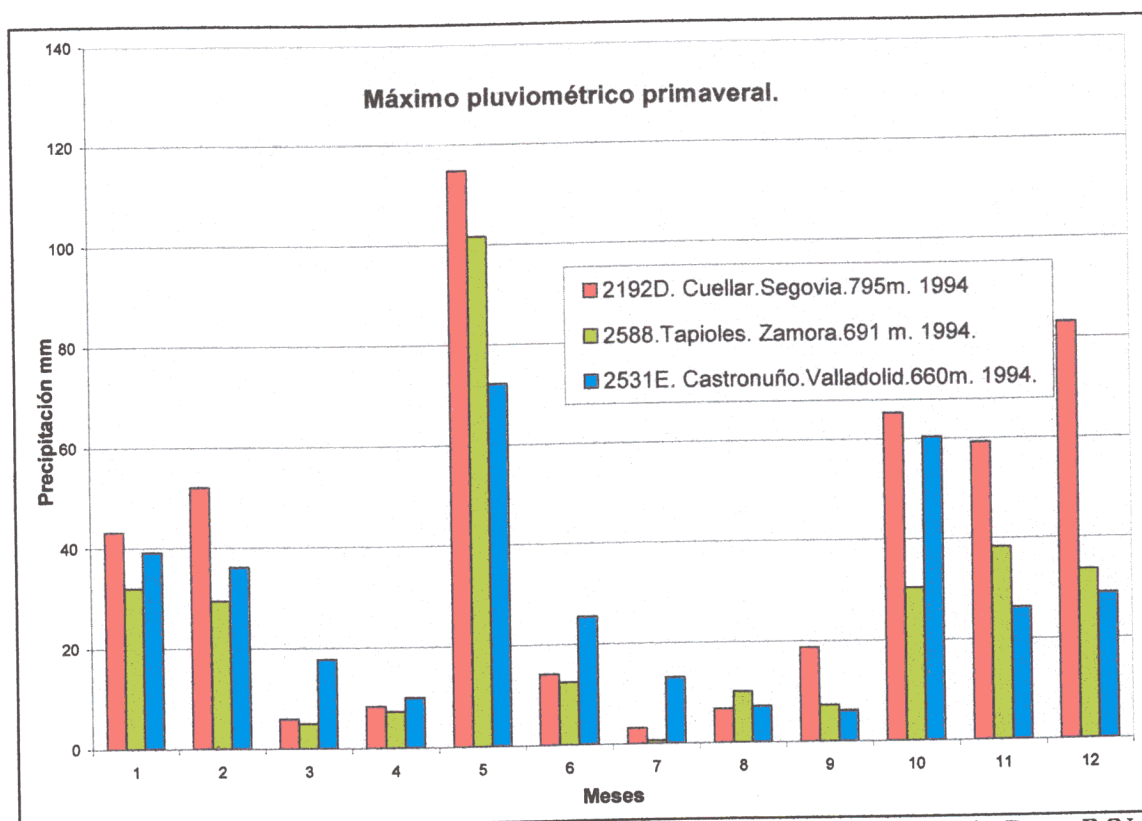


Figura 2.16 Estaciones con máximo pluviométrico primaveral. Fuente. Elaboración Propia. Datos: IMN.

2221 e) Régimen de precipitaciones de otoño

Al igual que la primavera, el otoño es una estación de transición, corta y con caracteres locales muy definidos; en las tierras llanas no se prolonga más de un mes, mientras que en las montañas se prolonga 15 ó 20 días más. En contraposición con la primavera, el

otoño castellano-leonés comienza por el E y en las montañas, donde el calor estival cede antes (comienzo: primera quincena de septiembre, hasta la primera mitad de octubre); en las llanuras del centro y del W, el inicio del otoño es más tardío y, además, más duradero(desde la segunda quincena de septiembre y octubre). El otoño proporciona, básicamente, dos tipos de tiempo en Castilla y León: uno húmedo y cálido y otro seco y fresco.

Las situaciones de otoño sin lluvia se deben a la estabilidad propia del anticiclón de Azores mientras que la presencia de precipitaciones en esta época se debe a las bajas presiones de aire polar marino del W, NW y SW, acompañadas de abundante nubosidad, que arrastran consigo 2, 3 o hasta 7 días de lluvias moderadas en cuanto a la intensidad pero copiosas en cuanto a la cantidad absoluta.

Las estaciones de las llanuras registran entre 30 y 40 mm/mes, y las de las montañas entre 40 y 60 mm. Estos valores medios son solo ciertos en el caso de grandes series de registros climáticos; puesto que, la irregularidad interanual es una característica a destacar tal y como se ejemplifica en la Figura 2.17.

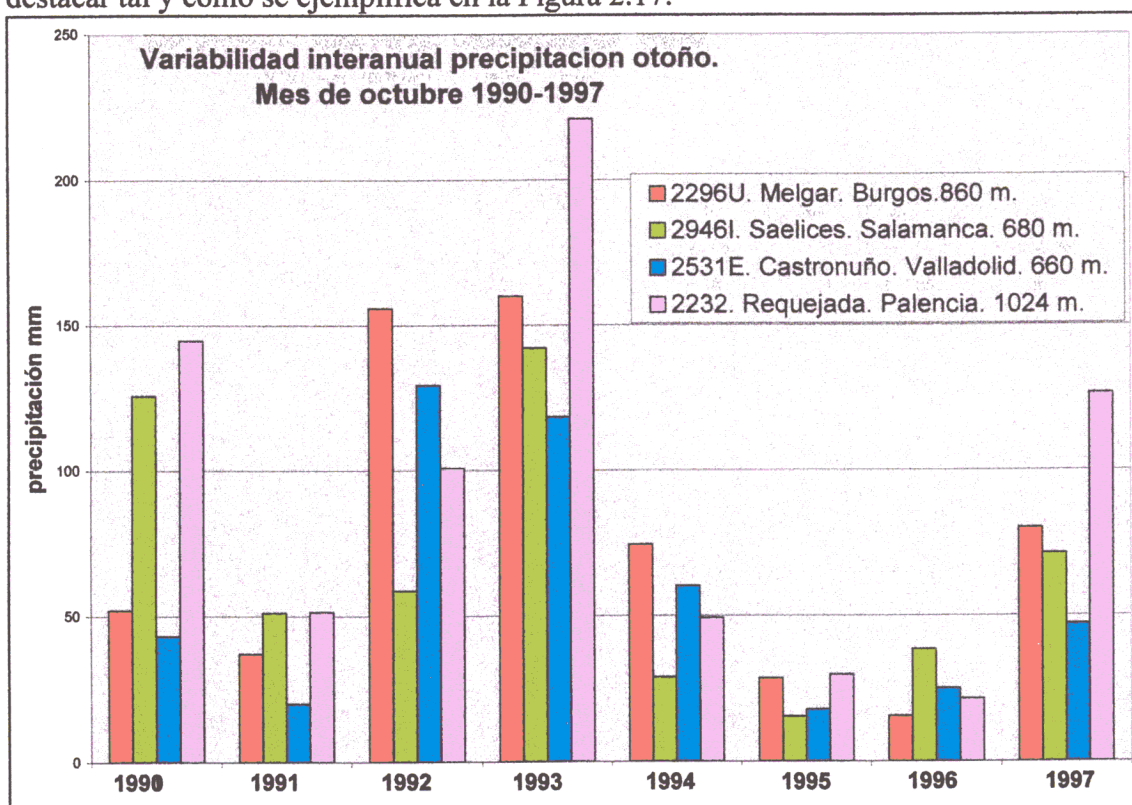


Figura 2.17 Ejemplos de variabilidad interanual de precipitaciones otoñales. Mes de Octubre, años 1990-97. 4 estaciones de registro del área de estudio. Fuente. Elaboración Propia. Datos: IMN.

2230. ANÁLISIS DE LAS TEMPERATURAS

2231. ESTACIONALIDAD DE LAS TEMPERATURAS

2231 a) Régimen de temperaturas invernales

Las características que marcan el régimen de temperaturas invernales en Castilla y León son los bajos valores mínimos absolutos, la persistencia de esos valores mínimos y la

larga duración, en conjunto, de la estación de invierno: 5 meses en las llanuras centrales del W y del centro, 6 meses entre los 1000 y 1200 m de altitud y, entre 6 y 7 meses en las montañas (meses consecutivos con una media inferior a 10°C, a partir de los cuales comienza el desarrollo del ciclo vegetativo de muchas plantas).

Los elementos de circulación atmosférica que regulan esta larga estación son las masas de aire frío del N y NE, : aire ártico marino y polar continental. Además hay que sumar las propias características continentales de la zona reforzadas por el cinturón montañoso y la elevada altitud media de todo el territorio. "Así pues, la continentalidad y la altitud transforman las temperaturas de las masas de aire hacia valores más bajos que los registrados en regiones de la Península Ibérica contiguas, lo que obviamente con respecto a ellas provoca el alargamiento y el acusado frío del invierno en Castilla y León" (Cabero, *et al.* 1996. *Cit.supra*, T 2. Pg. 60). Las temperaturas medias mensuales (Tabla 2.1) evidencian el intenso frío invernal (valores medios inferiores a 5°C), la crudeza del trimestre diciembre-febrero y la duración de la estación según la ubicación dentro del conjunto castellano-leonés.

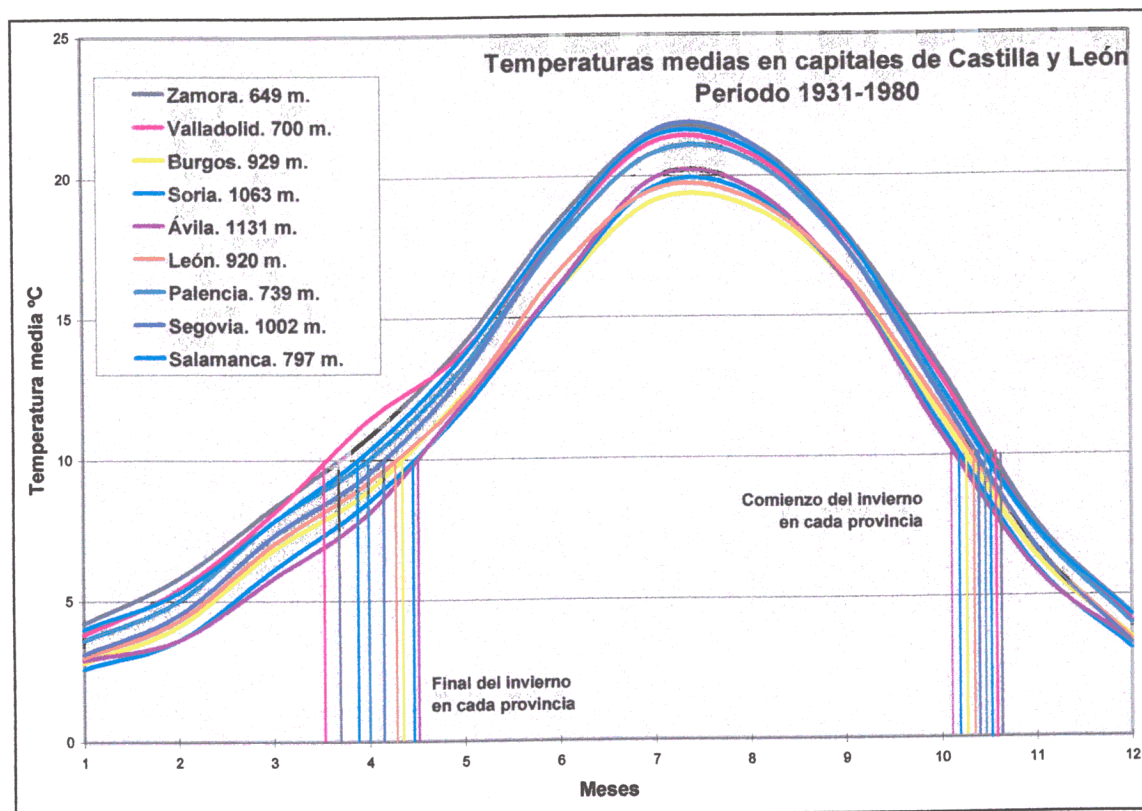


Figura 2.18 Temperaturas medias mensuales en capitales de Castilla y León. Periodo 1931-80. Resalte del inicio y fin de los meses con temperatura invernal Fuente. Elaboración Propia. Datos: IMN.

Dentro de la severidad térmica invernal, destaca el mes de enero, cuya media oscila entre 5 y 2° C en las llanuras y estribaciones montañosas y se aproxima a los 0° C en las montañas. El hielo, es un elemento constante en las montañas castellano-leonesas durante el mes de enero, especialmente en las Cordilleras Cantábrica e Ibérica; además, las temperaturas negativas son tan habituales que llegan a ser la norma tanto en ese mes como en los otros dos del trimestre central del invierno. Respecto a los valores mínimos

absolutos de las temperaturas en invierno, la Tabla 2.6 ejemplifica la crudeza de los valores alcanzados en varias de las estaciones de estudio seleccionadas.

Estación	Temperaturas mínimas absolutas invernales. Años consecutivos.											
	Enero			Febrero			Noviembre			Diciembre		
	91	92	93	91	92	93	91	92	93	91	92	93
2269U. Melgar (Bu) 806 m.	-6,5	8,5	-5	-15	8	-11	-6	-3	-6	-7	-3	-4
2697.Rabanal (Le) 1150 m.	-10	-12	-8	-9	-10	-9	-16	-5	-9	-8	-7	-6
2403 Venta Baños (Pa) 720 m.	-6,5	-6	-7	-7,5	-6	-8,5	-3	-2	-5	-5	-2	-3
2946I. Saelices (Sa) 680 m.	-6	-7,5	-7,4	-4,9	-5,3	-8,5	-5,9	-5	-3,5	-5,2	-2,5	-5
2192C Cuellar (Se) 795m.	-12	-9	-3	-9	-7	-10	-5	-6	-7	-9	-10	-9
2516. Ataquines (Va) 802 m.	-5	-7	-6	-5	-6	-8	-6	-1	-4	-6	-3	-3
2087. Abioncillo (So) 995 m.	-10	-12	-13	-12	-15	-12	-7	-6	-11	-10	-6	-8,5
2588 Tapioles (Za) 691 m.	-6	-7	-3	-6	-5	-6,5	-4	+2,4	-4,5	-4,5	+1,2	-3,5

Tabla 2.6 Temperaturas mínimas absolutas de los meses de invierno, años consecutivos. Fuente: Elaboración propia.
Datos: INM

Los valores de las temperaturas medias mínimas diarias son también una prueba de la frecuencia de temperaturas por debajo de los 0°C: las llanuras superan muy ligeramente el umbral de 0° C, los rebordes montañosos descienden a -2°C en los meses centrales del invierno y las montañas oscilan entre -5 y 0°C durante todo el período invernal. El frío domina la mayor parte del día ya que las medias de las temperaturas máximas diarias no dejan de ser bajas: de 7 a 15°C en las llanuras y de 5 a 10°C en las montañas.

Las situaciones de mayor crudeza térmica se registran entorno al solsticio, cuando el periodo de iluminación solar es mínimo y, además, la circulación atmosférica queda dominada por anticiclones y cielos despejados que anulan, casi por completo, el efecto invernadero, por lo que las heladas nocturnas recrudecen los valores mínimos. Las masas de aire ártico provocan heladas entre los -3 y -10°C; las heladas se intensifican en el caso de incursiones de aire polar continental con vientos del NE, provocando heladas entre -10 y -15°C

Las series de datos meteorológicos tienen carencias para determinar con exactitud la frecuencia, intensidad y duración de las heladas: las mediciones de temperaturas se realizan a 1,20 m. de altura y sólo recientemente se han tomado medidas de temperatura de niveles más cercanos al suelo (10 ó 15 cm. de altura), donde son más frecuentes e intensas las heladas que en niveles superiores. Estas mediciones son importantes para determinar la intensidad de las heladas y su incidencia en órganos vitales de especies vegetales, naturales y cultivadas.

El periodo de heladas en las llanuras del W y del centro dura seis meses y medio, desde la segunda quincena de octubre hasta abril (Figura 2.19). La persistencia de las heladas se alarga en las montañas periféricas, como es el caso de las tierras altas Sorianas, que contabilizan entre 8 y 12 meses con heladas (MAPA, pg 10)⁸⁵.

⁸⁵ Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (1986) Dirección General de la Producción Agraria, Subdirección general de la Producción Vegetal. Memoria y Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de la Provincia de Soria. Escala 1:200.000. Madrid. 97 pp.

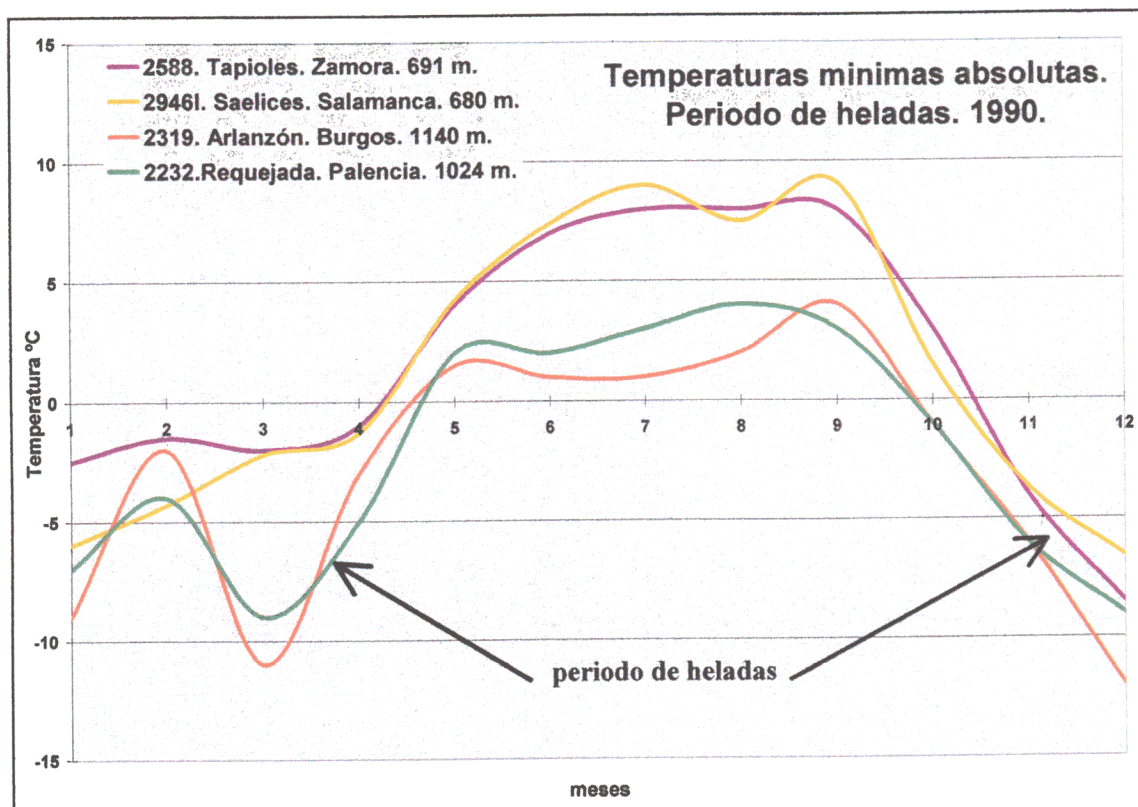


Figura 2.19 Temperaturas mínimas absolutas. Periodo de heladas. Datos: INM. Elaboración: propia

El número de días absoluto de helada por año aumenta, a grandes rasgos, de W a E y de N a S. Las llanuras del W (< 800m) contabilizan entre 30 y 40 días de helada por año; las llanuras del centro (800m) oscilan entre 50 y 65 días. En el rango de altitudes entre los 800 y los 1200 m, aumentan los días con heladas entre 65 y 90. Las áreas montañosas (>1500m) contabilizan fácilmente 150 días con heladas, o más. En cuanto a la intensidad de las heladas, por término medio se mantienen entre -3 y -5°C , y en situaciones extremas, generalmente en el mes de enero, se recrudecen hasta alcanzar -8 y -15°C en las llanuras.

La distribución espacial y temporal del periodo libre de heladas es, lógicamente, el inverso al apuntado en los párrafos anteriores: 6 meses en las llanuras del W, 5 meses en las centrales, 4 meses entre las cotas de 800 a 1000m, y 2 meses o menos en las montañas.

Las heladas provocan un balance desfavorable sobre el desarrollo biológico normalizado de las especies vegetales, tanto espontáneas como cultivadas, en todo Castilla y León. El desarrollo fenológico de las especies se ve especialmente alterado por las heladas tempranas (octubre), por las heladas tardías (mayo), por los valores mínimos absolutos de la helada y por su duración.

Las bajas temperaturas medias ($<10^{\circ}\text{C}$) interrumpen toda actividad vegetativa desde noviembre hasta abril. A partir de este mes, el desarrollo de los ciclos fenológicos arranca tímidamente y muchas veces se interrumpe por heladas tardías o demasiado tempranas. Los meses de mayo y octubre, cruciales para el desarrollo de las especies,

pueden registrar temperaturas excesivamente bajas, que rompen el ciclo de reactivación y desarrollo vegetal, aún siendo especies de fructificación tardía (p.e. la encina, *Quercus ilex*), se ven afectadas por los hielos en el momento de la floración.

El efecto de las heladas tempranas (octubre) sobre algunos frutos provoca la esterilidad de las semillas. La recolección temprana intenta prevenir los efectos de las heladas tempranas sobre las cosechas de frutos madurados durante el verano (p. ej: vendimia durante la primera quincena de octubre), aunque no esté totalmente madura. Asimismo, es frecuente adelantar la siembra de cereales de invierno a esa quincena con el fin de que las primeras heladas no quemen el grano.

Resultan más peligrosas las heladas tardías (mayo), puesto que los tejidos recién brotados no han alcanzado el desarrollo y resistencia pleno y quedan destruidos al congelarse los líquidos que retienen. Aunque sean muy nocivas, las heladas tardías no suelen ser generalizadas sobre todo el territorio ni excesivamente persistentes, sino que tienen un carácter local, reduciendo, así su repercusión. Los efectos de las heladas tardías sobre el cereal dependen en gran medida del grado de desarrollo alcanzado por la planta en el momento de la helada: si tan apenas han empezado a brotar de la inactividad invernal, la incidencia suele ser menos grave; pero si la planta se ha desarrollado rápidamente como consecuencia unas temperaturas cálidas tempranas, el cereal queda "quemado", el desarrollo de maduración del grano es incapaz de recuperarse.

Los efectos de las heladas dependen también de la intensidad de las mismas y de su persistencia. En la mayoría de los casos, el tiempo en que la temperatura permanece por debajo de los 0°C es corto y no llega a dañar la planta irremediablemente. La larga duración del invierno incide más sobre las plantas que la crudeza de un episodio de helada aislado. La prolongación del invierno obliga a una maduración rápida de las plantas. En el caso de los cereales, es necesario que entre la segunda quincena de mayo y el mes de junio las temperaturas máximas diarias no excedan de 25°C, para que las plantas no se agosten prematuramente. Pero el mes de junio puede quedar invadido por masas de aire sahariano, cuyas temperaturas (30-35°C) asuran el cereal: el calor deseca los granos todavía en estado lechoso, maduran precipitadamente con menor tamaño y peso, mermando el producto de las cosechas.

Como hemos visto, las temperaturas de verano marcan dos meses netamente veraniegos; en ellos, son frecuentes los "golpes de frío". En términos agrícolas esto significa la exclusión de cultivos termófilos, aún siendo de ciclo corto, o su localización en posiciones topográficas que por factores locales permitan esos cultivos. En general, las especies arbóreas autóctonas son criófilas, en especial en los páramos y en las montañas. En las llanuras, las especies espontáneas son orófilas, con adaptaciones a las imposiciones del medio: rebollo (*Quercus pirenaica*), quejigo (*Quercus faginea*), enebro (*Juniperus turifera*). En las áreas de llanuras donde se ha verificado un abandono progresivo de tierras de cultivo, se han visto colonizadas de modo espontáneo por

rebollos y enebros, pues encierran caracteres más criófilos y hacen frente a la crudeza de las temperaturas con más recursos, recuperando para sí nichos ecológicos a favor de otras especies más conservadoras y exigentes en los umbrales térmicos (quejigo y encina -*Quercus ilex*, ssp. *rotundifolia*-).

El régimen térmico y de heladas limita también las especies cultivadas; así, el olivo se recluye en las solanas de Gredos y la sierra Salmantina sin poder penetrar en la llanura; los frutales, a causa de las heladas tardías, se concentran en áreas muy determinadas amparadas por condiciones térmicas locales que permiten el correcto desarrollo y maduración de frutos carnosos. Otros cultivos típicamente mediterráneos, como el almendro, quedan relegados al aprovechamiento marginal de parcelas; la presencia del viñedo es más histórica que ecológica y, aunque se dan especies y producciones de gran calidad (Ribera del Duero), proceden de ecotopos delimitados por la combinación de suelos, número de horas de sol etc.

2231 b) Régimen de temperaturas estivales

La suavidad térmica estival hace que el subtipo de clima mediterráneo de Castilla y León sea *fresco*, como señalaremos en detalle más adelante al desglosar las características agroclimáticas (según J. Papadakis), para las comarcas agrarias. Las temperaturas máximas de verano no resultan extremas ni duraderas y, aunque se dan episodios de olas de calor, nunca llegan a ser tan extremas como en la meseta meridional o en Andalucía.

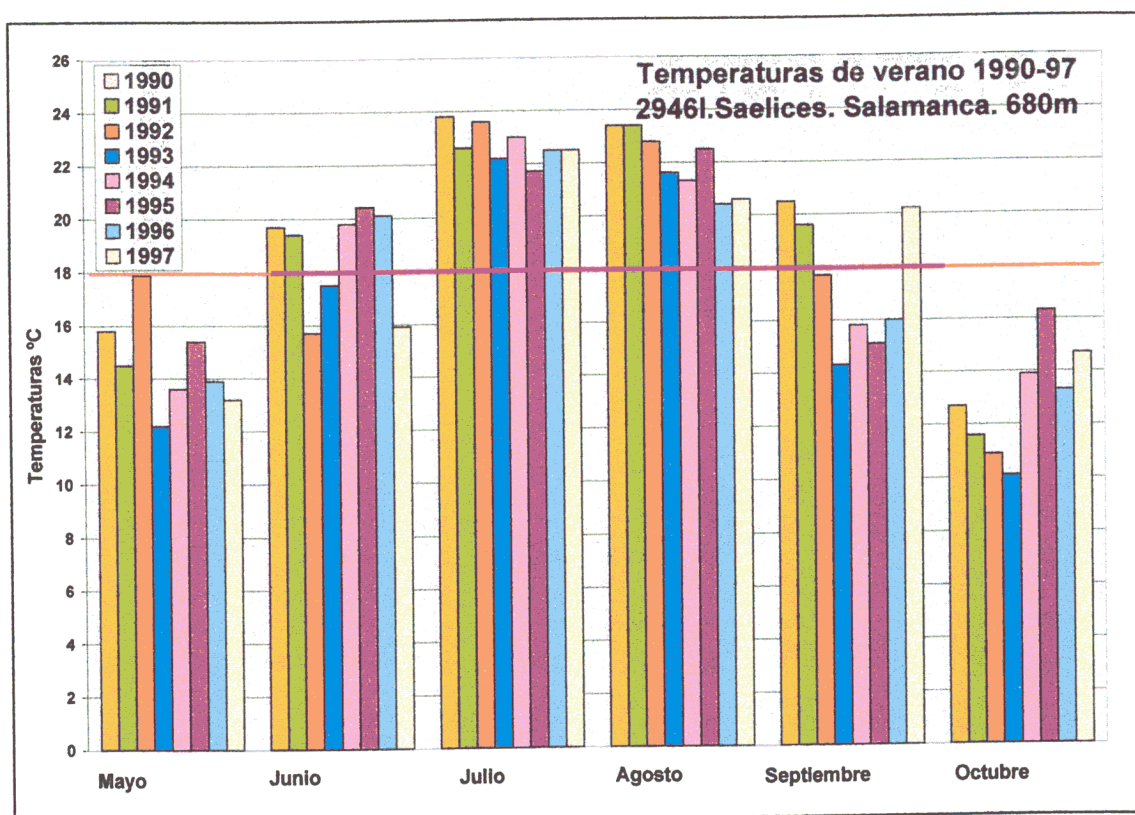


Figura 2.20 Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de las llanuras del W. Saelices, Salamanca. 680 m. Fuente: elaboración propia. Datos INM

De nuevo la delimitación del verano resulta diversa según consideremos las llanuras, los páramos o las montañas. En las llanuras, el verano dura cuatro meses, de junio a septiembre, aunque la primera quincena de junio y la segunda de septiembre pueden no calificarse de veraniegas, ya que la temperatura media no llega a los 18°C. Este es el caso de Saelices (Salamanca, 680 m.), ejemplificado en la figura 2.20. Se han incluido los valores de mayo y octubre para facilitar el contraste comparativo entre estaciones.

En los páramos se consideran temperaturas veraniegas las medias entre 15 y 18°C (Figura 2.21) y en las montañas los meses que superen los 15°C (Figuras 2.22 y 2.23). La reducción del verano a dos meses es más evidente en las montañas septentrionales (Figura 3.23, Rabanera, León), mientras que en las elevaciones meridionales, junio o septiembre pueden tener temperaturas de verano algunos años (Figura 2.22, Cillán. Ávila).

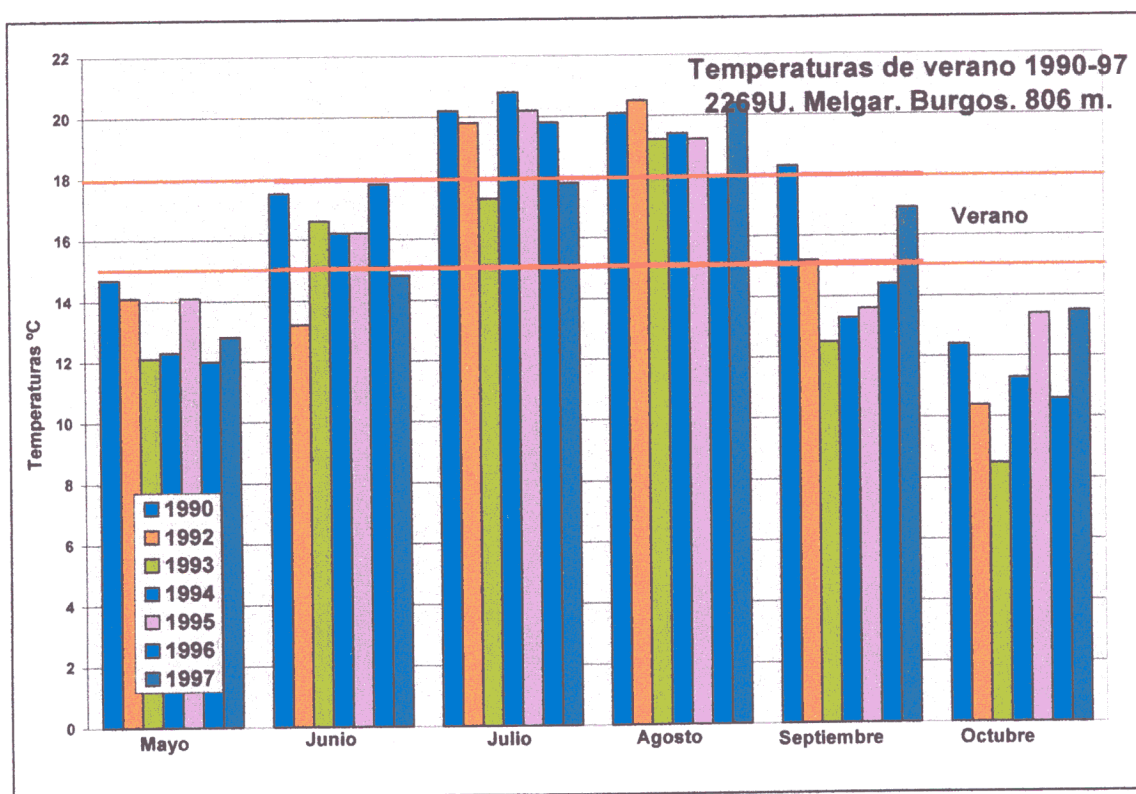


Figura 2.21 Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de páramo. Melgar. Burgos. 860 m. Fuente: elaboración propia. Datos INM

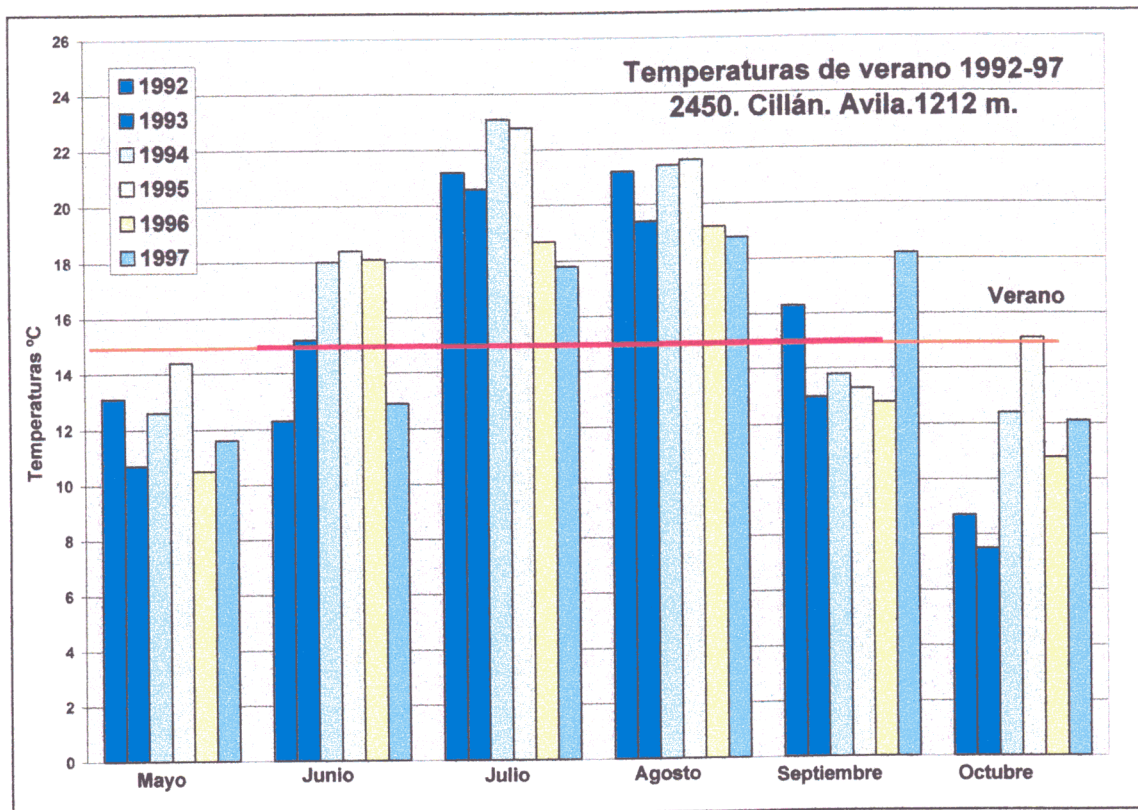


Figura 2.22 Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de montaña del reborde meridional. Cillán. Ávila. 1212 m. Fuente: elaboración propia. Datos INM

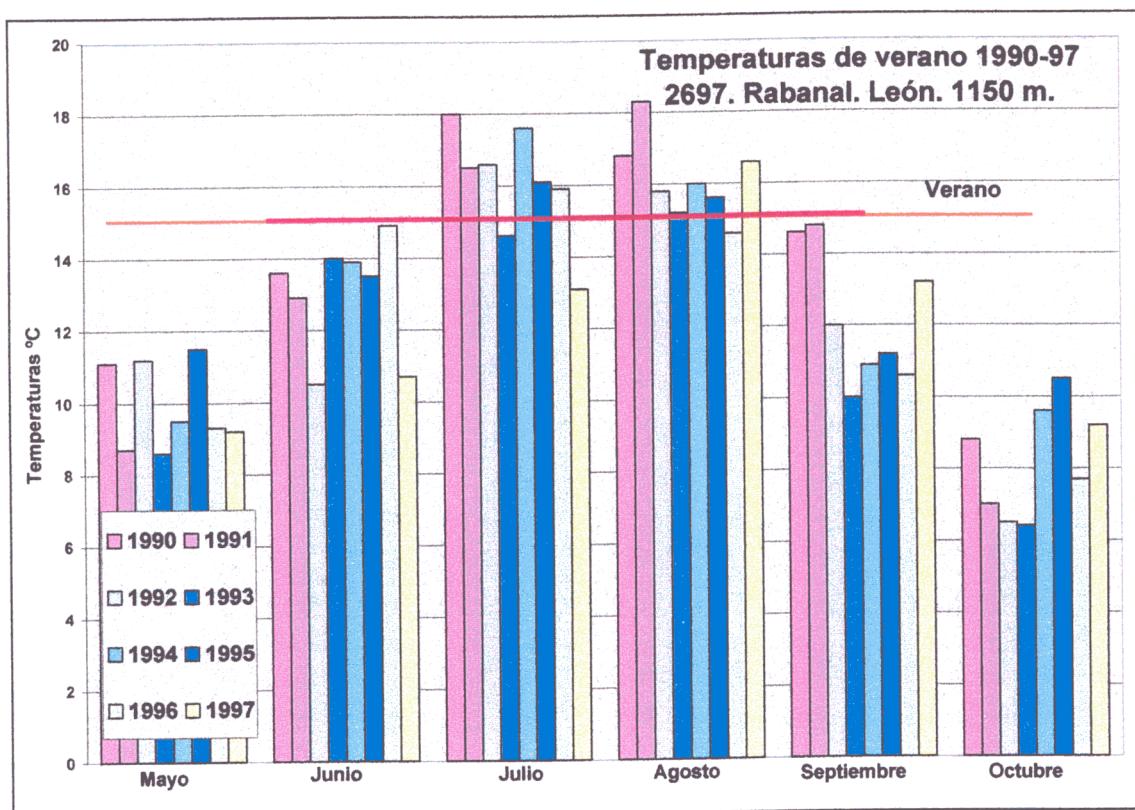


Figura 2.23 Temperaturas medias de los meses estivales (jun., jul., ago., sep.) en una estación de montaña del reborde septentrional. Rabanal. León. 1150 m. Fuente: elaboración propia. Datos INM

A pesar de la corta duración del verano en toda Castilla y León y de la moderación térmica, sus características son netamente mediterráneas, como periodo cálido, seco y diferenciador opuesto del invierno.

2231 c) Régimen de temperaturas de primavera

La primavera térmica en Castilla y León tiene una duración variable en el tiempo (entre 2 y 3 meses, con un calendario relativamente oscilante) y en el espacio (inicio y progresión variable de N a S y de E a W). Su inicio lo marcan las temperaturas medias que posibilitan el comienzo de la actividad vegetativa en las plantas, entre 10 y 15°C. Las llanuras del centro y del W son las primeras en alcanzar estas medias, en los meses de abril y mayo. En los páramos (800-1000 m), las temperaturas medias primaverales se adentran en la primera quincena de junio, mientras que en las montañas la elevación de las temperaturas es tan tardía que junio debe considerarse el mes primaveral (Figura 2.24).

Desde todo punto de vista térmico, la primavera puede considerarse como fresca, ya que, a pesar de los días secos y soleados con máximas absolutas superiores a los 20°C, las mínimas también descienden muy por debajo de los 10°C, ocasionando además oscilaciones térmicas diarias entorno a los 20°.

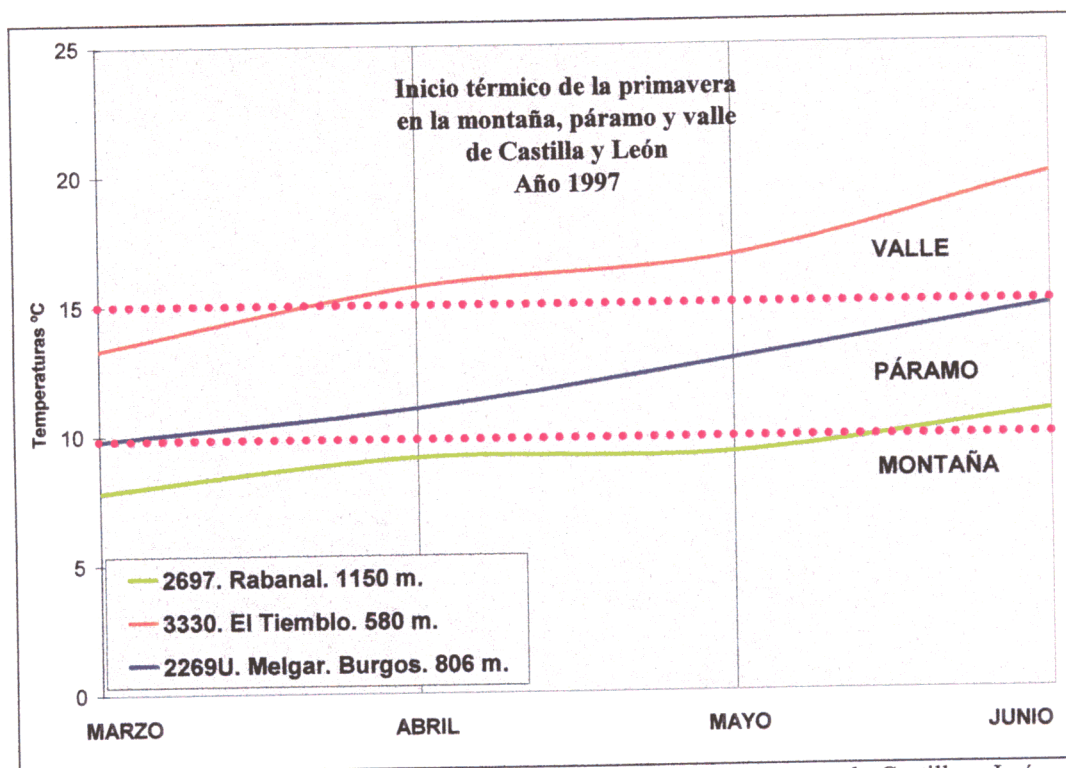


Figura 2.24 Ejemplos de inicio de la primavera en las tres grandes áreas de Castilla y León, según la localización. Fuente: elaboración propia. Datos INM

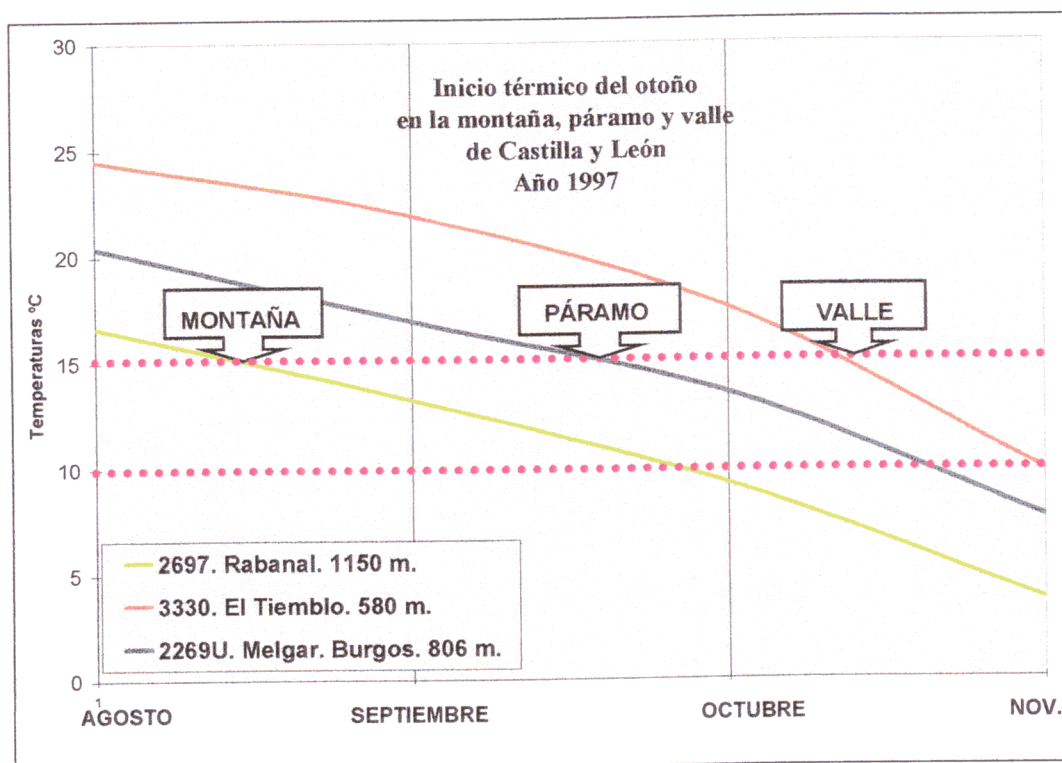


Figura 2.25 Diferencias de inicio térmico del otoño según la localización. Fuente: elaboración propia. Datos INM

2231 d) Régimen de temperaturas de otoño

Hemos señalado anteriormente el carácter transitorio de esta estación, que suele corresponder con el mes de septiembre en las montañas, octubre en las llanuras, mientras que en los páramos se adelanta a la segunda quincena de septiembre. Si nos ceñimos a parámetros térmicos, el otoño corresponde con temperaturas medias mensuales de 10 a 15°C, inmediatamente posteriores a las elevadas temperaturas del verano.

2240. TELEDETECCIÓN Y CLIMA

En la descripción que hacemos de los satélites NOAA-AVHRR en el capítulo 4 de esta memoria referimos con detalle el papel impulsor de los estudios de física atmosférica para la teledetección; la aplicación y el avance técnico han avanzado conjuntamente. Cada vez tiene más importancia e impacto popular el uso de satélites en la meteorología a través de las previsiones del tiempo lanzadas cada pocas horas por los medios de comunicación de masas. Además, muchos ciudadanos de países desarrollados muestran interés por temas como el cambio climático global, la pérdida de ozono o el recalentamiento de los casquetes polares y saben que los satélites de observación de la tierra pueden ayudar a conocer o seguir con más detalle esos fenómenos.

La mayoría de los satélites meteorológicos son geoestacionarios por lo que la resolución temporal tiene intervalos de pocas horas y la resolución espacial varía entre 2,5 y 5 km. NOAA-AVHRR es una excepción ya que es heliosíncrono. Las resoluciones espectrales mantienen al menos una banda en el visible, una en el infrarrojo cercano, apta para la discriminación del vapor de agua en la atmósfera y otra en el rango térmico, para la estimación de temperaturas de superficie y de las masas atmosféricas.

En Estados Unidos, y desde el lanzamiento del primer satélite meteorológico en 1966 (*Applications Technology Satellite ATS*), se han sucedido otros varios programas de observación. ATS derivó en la serie SMS, posteriormente denominada GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*)⁸⁶.

En Europa, los satélites climáticos son los conocidos Meteosat (6 naves entre 1977 y 1993), financiados por todos los países de la Unión y coordinados por la organización EUMETSAT⁸⁷. Está a punto de lanzarse una nueva nave Meteosat con 12 canales de registro, con resolución espacial de 1 km en el visible y temporal entre 15 y 30 minutos. Si este programa prosigue con éxito, la viabilidad y calidad de las series multitemporales de índices de vegetación quedaría reforzada.

Estas actuaciones están amparadas por la organización meteorológica mundial (*WMO World Meteorological Organisation*) dentro del programa de investigación climática (*WCRP World Climate Research Programme*)⁸⁸.

Otras instituciones europeas especialmente dedicadas a la investigación atmosférica mediante satélites son: Instituto Nacional de Meteorología⁸⁹, *Bremen Institute of Remote Sensing* (Universidad de Bremen) en sus programas GOME (*Global Ozone Monitoring Experiment*)⁹⁰ y SCIAMACHY (*Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric CHartography*)⁹¹; Instituto holandés de meteorología⁹²; CERSAT (*Archiving and Processing Center for Wind and Wave Satellite Data*)⁹³; *German Climate Computing Center* (DKRZ)⁹⁴.

Las áreas de observación climática en las que se puede utilizar la teledetección son muy numerosas. Algunos parámetros son: Temperatura medias, contenido de vapor de agua en la atmósfera, contenido de ozono y densidad de distribución, balance de la radiación solar en las capas altas de la atmósfera, velocidad y dirección del viento a distintas altitudes, distribución de nubes y estructura, temperatura de las masas nubosas, fases de

86 <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/GOES/> <http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/GOES/goes8conus.html>

87 <http://www.eumetsat.org>

88 <http://www.wmo.ch/web/wcrp/wcrp-home.html>

89 <http://www.inm.es>

90 <http://auc.dfd.dlr.de/info/AUC/GOME/nrt.html> <http://www.iup.physik.uni-bremen.de/>

91 <http://www.iup.physik.uni-bremen.de/iefepage/SCIA/SCIAMACHY.htm>

92 <http://www.ewc.nl/>

93 <http://www.ifremer.fr/cersat/>

94 <http://www.dkrz.de/>

evolución de las nubes, volumen de agua, previsión de las áreas de precipitación e intensidad.

La utilidad de este sistema de captura de datos resulta manifiesta, aún en el caso de un territorio suficientemente cubierto por una densa red de estaciones meteorológicas, como sería el caso de nuestro país o de Castilla y León. La bondad de los datos de satélite es que proporcionan un dato continuo frente al muestreo espacial puntual de las estaciones, a partir de las cuales deben inferirse por derivadas los valores intermedios. Además, el registro de datos de los satélites no falla mientras los instrumentos no pierdan sus propiedades físicas o mecánicas, frente a los frecuentes vacíos de datos de los registros convencionales, por ausencias o fallos humanos.

2300. ANÁLISIS DE RECURSOS EDÁFICOS

2310. INTRODUCCIÓN

En la descripción de las unidades del relieve nos hemos referido a algunos componentes edáficos que en esta sección sintetizamos de manera más ordenada. Como veremos más adelante al tratar de los índices de vegetación, el factor suelo es un elemento muy importante y difícil de separar a la hora de medir la sola respuesta espectral de la vegetación. Aunque somos conscientes de la importancia de las propiedades espectrales del suelo a la hora de la clasificación de cubiertas mediante técnicas de teledetección (Arquero *et al*, 1997)⁹⁵, prescindimos de tal componente en nuestro estudio, pues va más allá de los intereses y objetivos que nos hemos fijado. Esta área de aplicación conduce al examen de elementos decisivos tales como el color del suelo, el contenido de mineral y materia orgánica, el tamaño de partículas, la textura, el grado de agregación, la emisividad, la temperatura, la posibilidad de identificación de suelos bajo cubiertas vegetales, etc. Algo apuntaremos sobre las aplicaciones que ofrecen los sensores remotos para la determinación de estos elementos al final de esta sección.

Los suelos de Castilla y León muestran una gran variabilidad, como corresponde a una región con distintas unidades geolito-morfológicas. Por esta razón, y basándonos en el Mapa de Suelos de Castilla y León (García, A. *et al* 1987)⁹⁶ y García, M.P., (1993)⁹⁷, hemos realizado un resumen de la distribución de los mismos siguiendo estas unidades.

Según García (1993, *Cit. supra*, p. 156.) “al analizar los suelos de la región se observa que la mayoría han sido alterados por acción antrópica. En la cuenca del Duero muchos han sido alterados por el cultivo. Así, las clasificaciones se basan en restos de horizontes, propiedades físicas y químicas e, indirectamente, en la acción de varios factores: clima, material original y vegetación. Para determinar los suelos es importante conocer el microclima de la región. El régimen de humedad es ústico en los bordes de la depresión del Duero (llegando a údico y ácuico en puntos de montaña), xérico en la mayor parte de la cuenca del Duero y arídico en algunos puntos del centro. El régimen de temperaturas es mésico, llegando a frígido en zonas de montaña”. En general, de acuerdo con García A. *et al* (1979)⁹⁸, los suelos de la región están afectados por tres procesos: iluviación (favorecida por la degradación estructural de horizontes superficiales), rubefacción e hidromorfismo.

95 Arquero Hidalgo, A., Martínez Izquierdo, E., Gonzalo Martín, C., Ormeño Villajos, S., (1997). Características espectrales de los suelos. Relación con sus propiedades físicas y químicas. En, Teledetección: usos y aplicaciones, J. L. Casanova y J. Justo (Eds.), Secretariado de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Valladolid.

96 García A., *et al* (1987). Mapa de suelos de Castilla y León. Escala 1:500.000. Junta de Castilla y León, Valladolid.

97 García Rodríguez, M. P. (1993). Distribución de suelos en la Cuenca del Duero: relación con otros factores ambientales. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, nº 13, 155-168. Ed. Complutense. Madrid, 1993.

98 García, A., Forteza, J., Lorenzo, L.F. (1979). La cubierta edáfica de la Depresión del Duero. I Reunión Geol. Cuenca Duero. IGME. Madrid, 305-320.

En el resumen de las características físicas de los suelos de Castilla y León seguimos en buena medida la zonificación de unidades del relieve de la sección 2100, aunque hemos recurrido a clasificaciones más locales como las aplicadas en las cartografías de usos y aprovechamientos del suelo (MAPA). Debe de tenerse en cuenta la fuerte alteración de los suelos por acción antrópica, que en muchos casos no mantienen horizontes de datación puros; además, la caracterización edáfica es el resultado de complejos procesos bioclimáticos, físicos y químicos que exceden nuestro estudio.

2320. EDAFOLOGÍA DE LOS RELIEVES DE BORDE

Los suelos situados en los sistemas montañosos se caracterizan por tener perfiles poco evolucionados, limitados por la pendiente, la litología y las condiciones climáticas extremas. Así, clasificados según FAO (1989)⁹⁹ corresponden a regosoles, leptosoles (úmbricos, réndricos y líticos) y cambisoles (húmicos, dístricos, eútricos y gleicos). En áreas muy húmedas podemos localizar la presencia de gleysoles (móllicos y úmbricos) dedicados en su mayoría a pastos.

Los suelos menos evolucionados, leptosoles y regosoles se localizan en los pisos bioclimáticos más altos o en las zonas de mayor pendiente; en muchos casos son producto de una regresión, a partir de perfiles más evolucionados, por deforestación o cultivo inadecuado. Localmente, y formados a partir de materiales ácidos, pueden aparecer podsoles, con contrastados horizontes de lavado y en depresiones donde se acumula la materia orgánica se constituyen histosoles.

Suelos de las superficies de aplanamiento occidental: Los suelos más característicos que soportan la asociación de *arbolado-pastos-tierras de labor* son los cambisoles, desarrollados sobre la base de granitos, pizarras, grauvacas, gneisses y cuarcitas. Los suelos formados sobre estas base litológica son ligeros, poco profundos y erosionables. La cartografía de cultivos y aprovechamientos del MAPA (1985, *Cit. supra*) caracteriza la zona con inceptisoles y alfisoles.

Sobre los materiales graníticos del centro de la penillanura se originan cambisoles dístricos y, con extensiones menores, cambisoles gleicos y húmicos. Sobre los materiales metamórficos se encuentran cambisoles eútricos y crómicos. En los Arribes, además de cambisoles, se localizan, en las zonas, más abruptas, leptosoles líticos. Los leptosoles son también característicos de suelos degradados por sobrecultivo y posterior abandono. ; las especies que colonizan los cambisoles regresivos a leptosol son cistáceas (*Cystus escoparius*, *Cystus multiflorus* y *Cistus ladanifer*).

Las cubiertas naturales que soportan los cambisoles de las penillanuras son los sistemas de dehesa de encinas, quejigos, rebollos y alcornoques y un importante y rico substrato herbáceo

⁹⁹ FAO, (1989). Mapa mundial de suelos. FAO, Roma.

Suelos de las Montañas Galaico Leonesas y Fosa del Bierzo: La génesis y mineralogía de las sierras que separan Castilla y León de Galicia han dado lugar a suelos ácidos, poco desarrollados y con bajo grado de saturación: cambisol, leptosol (Sanabria), gleysol.

Los leptosoles más característicos son líticos, originados, sobre todo por deforestación y cultivo abusivo de zonas con fuerte pendiente. Además, los afloramientos rocosos producen una pérdida natural de suelo y un escaso contenido orgánico. Los cambisoles son de tipo dístrico, húmico y gléico, sobre los que se desarrollan adecuadamente comunidades de *Quercus pyrenaica* y *Quercus robur*. Los gleysoles son de tipo móllico y úmbrico; alcanzan extensas superficies sobre los montes del NE y forman el soporte de amplias zonas de matorral y pastizal.

Suelos de las Montañas Cántabras y Burgalesas: la riqueza litológica complica y diversifica la edafología de esta zona; sobre los materiales paleozoicos del sector occidental, se desarrollan cambisoles dístricos; sobre materiales calizos mesozoicos crecientes en dirección E, aumentan los cambisoles eútricos y los leptosoles réndricos (Montañas del norte de Burgos).

En cuanto a las fitoasociaciones que son capaces de sostener estos suelos, los cambisoles forman el nicho apto para el haya (*Fagus silvática*), a veces en asociación con roble albar y abedul. Las especies y asociaciones arbóreas pueden aparecer como elementos de colonización de segundo orden por degradación evolutiva de los suelos en podzoles y leptosoles úmbricos. Las comunidades vegetales que forman la cubierta de los podzoles son matorrales, escobonales y pino silvestre. En el caso de los leptosoles, la especie característica es la sabina (*Juniperus thurifera*), adaptada a las bajas temperaturas de montaña y a horizontes poco desarrollados.

Suelos del Sistema Ibérico Soriano: además de las características generales señaladas para el conjunto del reborde montañoso, en el caso de la Ibérica hay que resaltar la particularidad de la variada composición geológica de los materiales subyacentes y la presencia de importantes espesores de materiales mesozoicos carbonatados. Las pendientes impiden suelos profundos, lo que determina un uso forestal principal. Los suelos son, en su mayoría, cambisoles y leptosoles.

Los cambisoles son de tipo húmico bajo las superficies forestales más diversas (hayas y pinos silvestres) y dístricos sobre materiales paleozoicos; cálcicos (los más abundantes), crómicos y eútricos. En ocasiones favorables, los piedemontes acumulan luvisoles crómicos, aptos para albergar encinas y pino laricio.

Suelos del Sistema Central: los suelos del Sistema Central los hemos tratado con más detalle en la descripción de esta unidad de relieve. Las pendientes hacen que la velocidad de erosión superficial iguale o supere a la de formación de perfiles. Los

suelos más comunes son poco evolucionados (leptosol y cambisol), con diferentes ocupaciones y capacidad productiva.

2330. EDAFOLOGÍA DE LOS RELIEVES DE LA CUENCA CENTRAL

En la descripción de los suelos de la cuenca terciaria no seguiremos la zonificación de la sección 2130 sino que recurrimos a las grandes unidades del relieve de la cuenca central señaladas por García Rodríguez (1993, *Cit. supra*): piedemontes detríticos, páramos calizos, cuevas, campiñas, terrazas y vegas.

Suelos de los piedemontes detríticos: nos referimos en este apartado a los suelos desarrollados sobre las estructuras que enlazan las cumbres de los relieves de borde con la depresión central: en el norte son las rañas de Palencia y León y en el reborde sur las de Segovia y Salamanca. En los piedemontes detríticos del norte y sur de la Comunidad destaca la presencia de perfiles poco saturados, bien desarrollados y más ácidos que en la cuenca por razones (i) climáticas de mayor humedad, (ii) materiales originales pobres en bases, (iii) alta edafización química, favorecido por climas húmedos, (iv) hidromorfía, (v) presencia de humus moderado o mull ácido, (vi) de presión antrópica, que ha favorecido la evolución hacia suelos de tipo ácido por sobre-explotación de las comunidades originales de rebollo. Los suelos más característicos son los alisoles. Puntualmente pueden aparecer cambisoles dísticos y húmicos, luvisoles gléicos y planosoles.

Suelos de los páramos calizos: las calizas de páramo se formaron en grandes zonas de deposición lacustre sobre Burgos, Palencia y Valladolid (N), Soria y Segovia (S). Topográficamente forman amplias planicies remodeladas por *karstificación*. Sobre esta base, aparecen suelos evolucionados, muy alcalinos y ricos en carbonatos que se pueden clasificar como luvisoles cálcicos y crómicos o también se localizan cambisoles calcáricos, crómicos y eútricos y, donde el material original está próximo a la superficie, leptosoles réndricos. En la actualidad, estos suelos soportan una mayoritaria actividad agrícola; de las formaciones forestales originales de los páramos solo quedan expresiones relictas de encinas y sabinas.

Suelos de las cuevas: el siguiente relieve que nos lleva hacia el eje central de la depresión, son las cuevas de enlace entre los páramos y las campiñas. La génesis de la litología subyacente es lacustre marginal, sobre la que han se han formado suelos muy poco evolucionados de tipo regosol sobre las margas, yesos y arcillas de los niveles inferiores. En las zonas superiores de las cuevas y sobre margas calcáreas o calizas margosas se encuentran horizontes más desarrollados de cambisoles cálcicos y eútricos. Los suelos bajos solo son capaces de albergar matorrales calcícolas, mientras que en la parte superior se asientan incómodamente algunos pinos.

Suelos de las campiñas y terrazas: la campiña castellano leonesa por antonomasia es la Tierra de Campos, pero hay que distinguir otras áreas que a grandes rasgos dividimos entre (i) campiñas arcillosas y (ii) campiñas arenosas al sur del Duero.

En la campiña arcillosa aparecen extensiones notables de vertisoles (eútricos y calcáricos) que constituyen los suelos más fértiles de la región; la transición hacia suelos erosionados pasa por (i) luvisoles crómicos, cálcicos, háplicos, vérticos y gleicos; (ii) cambisoles vérticos, eútricos y cálcicos; (iii) regosoles eútricos y cálcicos. Los suelos de la campiña arcillosa están modificados casi por completo por la acción humana; naturalmente soportaban encinas, que han sido sustituidas por pinos, sabina albar y un fuerte sotobosque arbustivo.

Los suelos que han evolucionado sobre las campiñas arenosas son del tipo arenosoles álbicos o cámbicos, diferenciados por el contenido de arcillas y que marca el grado de fertilidad y uso de los mismos. La cubierta de los arenales por antonomasia la constituyen los pinos piñoneros y resineros.

En las campiñas arenosas de Ávila, Valladolid, Salamanca y Zamora los suelos son de tipo luvisol háplico o crómico, vérticos y gléicos, similares a los de la campiña arcillosa pero sometidos a procesos más intensos de iluviación. La mayor parte de estos suelos están labrados, pero son poco aptos para la explotación agrícola y los rendimientos (centeno, viñedo) son bajos.

La erosión fluvial da lugar a las terrazas de encajamiento. Ciertamente tienen características morfológicas distintas según se trate del curso alto medio o bajo del río, en razón de la orografía, litología o clima. Aunque puedan establecerse matices, los suelos de las terrazas bajas son cambisoles mientras que en las superiores aparecen luvisoles, acrisoles y planosoles, frecuentemente con costras carbonatadas.

Suelos de las vegas: nos referimos a las vegas como a la zona inmediatamente adyacente al río. Será tanto más cotizada cuanto más amplia sea, normalmente en los cursos medios y bajos y dependiendo de la resistencia de la litología. En las vegas de los ríos aparecen gleysoles y fluvisoles y, en áreas endorréicas, con sedimentos ricos en sales, se desarrollan suelos salinos correspondientes a unidades de Solonchks y Solonetz.

2340. TELEDETECCIÓN Y EDAFOLOGÍA

Al utilizar las técnicas de teledetección en edafología se requiere especial prudencia y detalle puesto que en la determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo se requieren minuciosos análisis de laboratorio y, en algunos casos puede parecer pretenciosa la determinación de esas características mediante satélites. Existe abundante bibliografía relacionando las propiedades edafológicas con las propiedades

espectrales de los suelos (Stoner *et al.*, 1980)¹⁰⁰. En este sentido, a partir del trabajo de muchos laboratorios de análisis se han elaborado amplias librerías de valores espectrales de distintos suelos en función de su composición química (Erdas Imagine)¹⁰¹.

En la introducción de esta sección enumerábamos varias propiedades edáficas susceptibles de determinarse mediante teledetección, también desglosadas por Palacios-Orueta (1998)¹⁰². Entre los instrumentos de detección remota, el sensor AVIRIS (*Advanced Visible/Infrared Imaging Spectrometer*), cámara multiespectral de 224 canales, está demostrando ser un instrumento especialmente adecuado para las aplicaciones edáficas y en concreto para la discriminación entre suelos desnudos muy similares (Smith *et al.*, 1990¹⁰³; Mustard, 1993¹⁰⁴; Roberts *et al.*, 1993¹⁰⁵.)

Otras conexiones en la red mundial que facilitan el acceso a las últimas actuaciones en investigación y aplicaciones de teledetección y suelos se pueden encontrar en: *U.S. Department of Agriculture*¹⁰⁶, *U. S. Natural Resources Conservation Service*¹⁰⁷, la descripción oficial de suelos¹⁰⁸, *CSTARS Center for Spatial Technologies and Remote Sensing, Department of Land Air and Water Resources*¹⁰⁹, y el mencionado CEO de la Unión Europea.

100 Stoner, E. Baumgardner, M., Weismiller, R., Bieh, L., Robinson, B., (1980). Extension of laboratory field spectra in field conditions. *Soil Science American Journal*. 44 (3): 572-574

101 El software de análisis de imagen utilizado durante nuestro estudio, Erdas Imagine 8.3, posee una librería espectral de 158 compuesto mineralógicos, a partir de mediciones de laboratorio y corroboradas para Landsat TM, Landsat MSS y SPOT.

102 Palacios-Orueta, A., Ustin, S. (1998), Remote sensing of soil properties in the Santa Mónica Mountains: I. Spectral Analysis *Remote Sens. Environ.* 65:170-183.

103 Smith, M., Ustin, S., Adams, J. Gillespie, A. (1990), Vegetation in deserts I. A regional measure of abundances from multispectral images. *Remote Sens. Environ.* 29: 1-26.

104 Mustard J. (1993), Relationships of soil, grass, and bedrock over the Kaweah serpentinite melange through spectral mixture analysis of AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.*, 44 (2-3): 293-308.

105 Roberts, D., Smith, M., Adams, J. B. (1993). Green vegetation, nonphotosynthetic vegetation, and soils in AVIRIS data. *Remote Sens. Environ.* 44: 255-269.

106 <http://www.usda.gov/>

107 <http://www.ncg.nrcs.usda.gov/>

108 <http://www.statlab.iastate.edu:80/soils/osd/>

109 <http://www.ucdavis.edu>

2400 ANÁLISIS DE RECURSOS HÍDRICOS

2410. INTRODUCCIÓN

Los recursos hidrográficos de Castilla y León se articulan entorno a las cuencas fluviales del Duero, Miño, Ebro, Tajo y Cantábrica según la siguiente proporción señalada por la Junta de Castilla y León (1997)¹¹⁰ en el documento elaborado para debate público sobre el medio ambiente en la Comunidad Autónoma:

Cuenca Fluvial	% Superficie de Castilla y León
Duero	84% (15.000Km ²)
Miño	4,5% (valles del Sil, Ancares y Sanabria)
Ebro	6,9% (comarcas de La Bureba, Miranda de Ebro y el Condado de Treviño en Burgos, y Montenegro de Cameros y Alto Jalón en Soria)
Tajo	4,1 % (valles del Tietar, Alberche y Alagón)
Cantábrica	0,7% (valles del Cares y Sella en León; valle del Cadagua -Mena- en Burgos).

La figura 2.26 muestra las principales arterias fluviales, representadas a partir de los datos geográficos vectoriales de la Base Cartográfica Nacional BCN 200, de la que se pueden extraer distintos órdenes de cursos (Figura 2.27). La red fluvial queda dominada por el Duero, que se instala en el centro de la depresión como colector central y la drena de E a O. Otra característica general es que los afluentes de la margen derecha son mucho más numerosos y caudalosos puesto que la mayoría sitúa sus cabeceras de cuenca en el área de dominio climático Atlántico y tienen un régimen pluvio-nival.

Los sectores de montaña de la cuenca concentran el mayor número de cauces por unidad de superficie o los mayores caudales relativos, a causa de la topografía o de la localización puntual de abundantes aportes pluviométricos en las cabeceras de las cuencas. Así, las cuencas del Sil y del Esla son las más ricas en el número de cauces; las del Pisuegra, alto Duero, Tormes y Ebro tienen notables caudales concentrados en pocos cauces. En contraposición, la densidad de drenaje es débil en la llanura central terciaria; la lenta escorrentía superficial favorece la infiltración y la evaporación.

2420. CUENCA DEL DUERO

El Duero y sus afluentes recogen las escorrentías superficiales y subterráneas provenientes de cuatro sistemas montañosos; además, por la longitud de su curso y la amplitud de su cuenca debemos singularizar tres sectores con identidades propias.

La primera es la zona Soriana, que se extiende desde su nacimiento en los Picos de Urbión (2000 m) hasta Soria, con características de caudaloso río de montaña por aportes pluvio-nivales y nivo-pluviales. Las crecidas de caudal en este tramo corresponden a los meses de deshielo, marzo y abril, quedando reguladas por el pantano de la Cuerda del Pozo.

¹¹⁰ Junta de Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (1997). Libro verde del Medio Ambiente en Castilla y León. Documento para debate público. Salamanca.

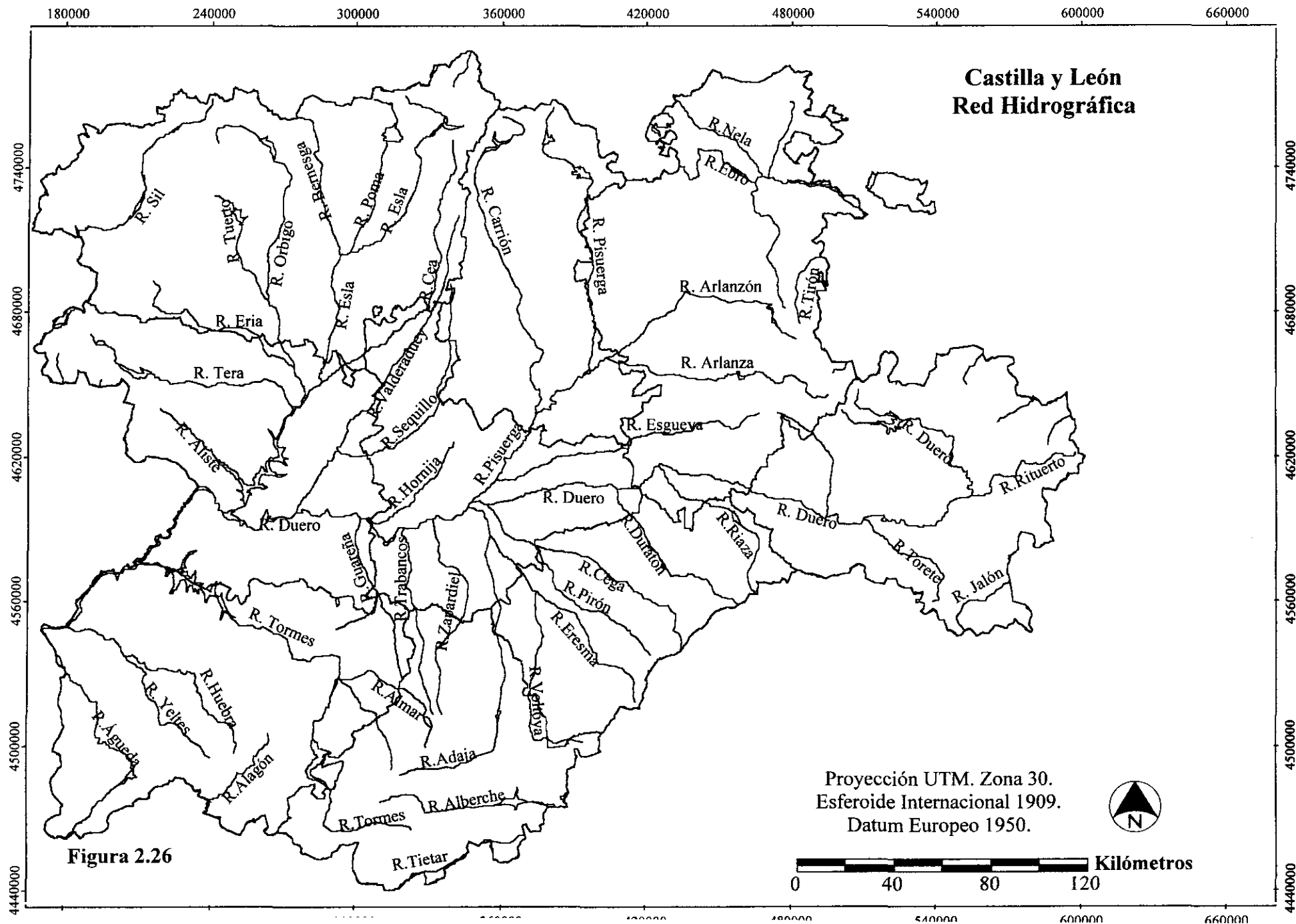


Figura 2.26

200000 300000 400000 500000 600000

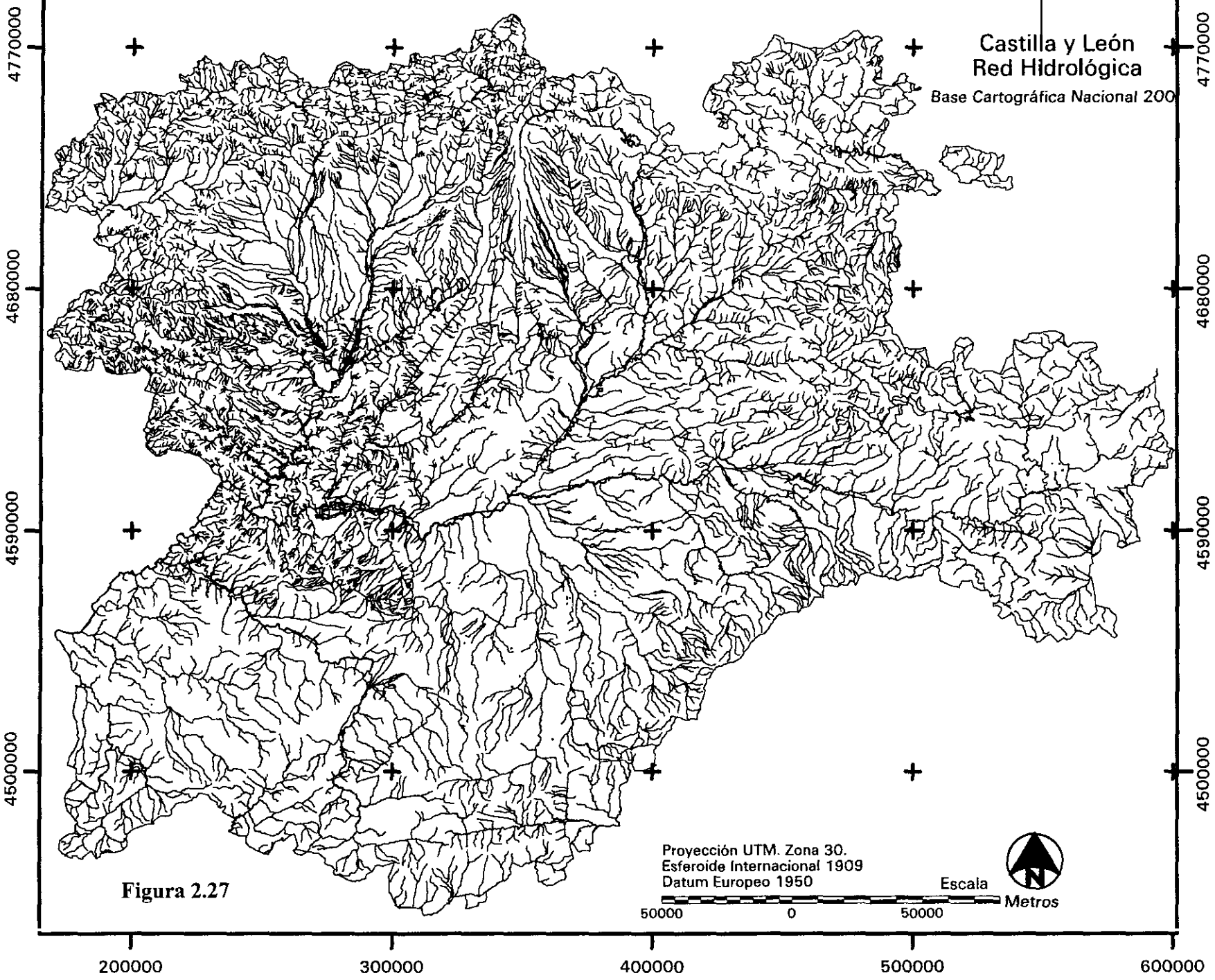


Figura 2.27

El segundo tramo, el más extenso, transcurre entre las ciudades de Soria y Zamora; la relativa horizontalidad topográfica de las llanuras de materiales terciarios y cuaternarios de la cuenca interior obligan al caudal a circular con más lentitud, a pesar del fuerte incremento de caudal absoluto que contabiliza en este sector. El aumento de caudal medio del río en dirección O se debe a los aportes de los tributarios, que a su vez son más caudalosos cuanto más occidental sea la localización de las subcuencas, por encontrarse más próximas a las masas húmedas Atlánticas. Otro desequilibrio a tener en cuenta en este sector central son las diferencias en el aporte al colector central de los afluentes de la margen derecha, que doblan a los de la margen izquierda

El tercer y último tramo distintivo del Duero transcurre entre Zamora y Portugal. Al tratar de la geomorfología hemos apuntado como, tanto el río principal como los afluentes se encajan en el zócalo paleozoico, horadando por erosión remontante fuertes desniveles en la región de Los Arribes, lo que provoca descensos rápidos de 3 m/Km. Entra Zamora y la confluencia con el río Águeda, el río desciende de 600 a 120 m. La torrencialidad queda patente hasta en la toponimia local con abundantes designaciones de caideros, cascadas o fervencias. Estas formas han permitido la construcción del sistema de embalses y generadores hidroeléctricos más importante de la Península.

El aumento progresivo de caudal del Duero según éste avanza hacia su desembocadura queda de manifiesto en la siguiente tabla resumen. (Tabla 2.8)

Estación de Aforo	Años Registro	M ³ /s	Km ² Cuenca
Garay (Soria)	68	11,9	1500
Quintanilla de Onésimo (Valladolid)	58	42,7	11905
Villamarciel (Valladolid)	61	139,9	36570
Toro (Zamora)	68	143	41808
Puente de Pino (Zamora)	38	279,9	63160
Saucelle (Salamanca)	47	358	73715

Tabla 2.8 Aumento de caudal del Duero entre el curso alto, medio y bajo.

Fuente. Confederación Hidrográfica del Duero. Aforos.

Tomado en conjunto, el Duero es un río de caudal medio moderado (160 m³/s. en Toro); el estiaje transcurre entre julio y octubre, mientras que la crecida máxima es primaveral, coincidiendo con los máximos pluviométricos secundarios de primavera y con la fusión de la nieve en los sistemas Ibérico y Cantábrico. Al igual que con los elementos climáticos, los valores medios de aforo y caudal encubren una gran variabilidad interanual, tal y como resume la tabla 2.9.

Estación Río	Toro (Duero)	Breto (Pisuerga)	Cabezón (Pisuerga)	Vadestillas (Adaja)	Contienda (Tormes)
Año / Cdl máx.	1936: 318 m ³ /s	1936: 361,8 m ³ /s	1936: 159,6 m ³ /s	1929: 36 m ³ /s	1941: 94,1 m ³ /s
Año /Cdl mín.	1949: 41 m ³ /s	1949: 45 m ³ /s	1949: 24 m ³ /s	1945: 2,2 m ³ /s	1945: 8,1 m ³ /s

Tabla 2.9 caudales máximos y mínimos en cinco estaciones de aforo de la cuenca del Duero.

Fuente. Confederación Hidrográfica del Duero. Aforos

La diferencia de aportes de caudal entre las subcuencas de las dos márgenes del Duero es notable: los principales afluentes de la vertiente septentrional arrastran caudales medios anuales que pueden llegar a ser hasta seis u ocho veces superiores a los del año más seco. Esta diferencia de irregularidad se agudiza en los ríos de la vertiente meridional (Bosque y Vilá, 1990, p. 286)¹¹¹. El Caudal del Duero casi se triplica tras el vertido de las aguas del Esla (166 m³/s) y del Tormes (55 m³/s). Actualmente, el régimen natural de crecidas y estiajes del Duero ha sido profundamente modificado con la construcción de embalses, que aseguran el aprovechamiento de sus aguas a partir de su almacenamiento durante las épocas de lluvias y de deshielo.

La figura 2.28 es un esquema de la red de **afluentes** del Duero, que sintetiza la reticulación de subcuencas que vierten al colector principal. De O a E son:

Por la margen izquierda, el Riaza, Duratón, Cega, Adaja, Eresma. Tormes y Águeda. Por la margen derecha, la ramificación del Pisuerga, Esgueva, Arlanza, Arlanzón y Carrión, Valderaduey-Sequillo, seguido del abanico del Esla y sus tributarios: el Porma, Bernesga, Órbigo, Tuerto y Tera.

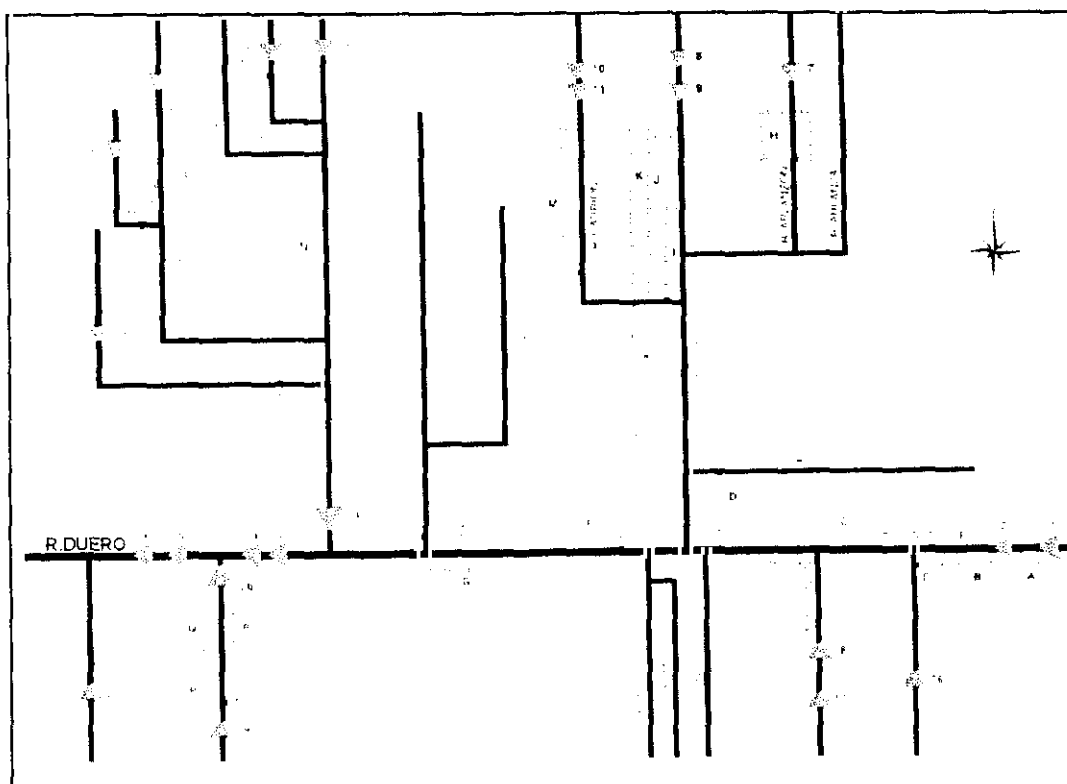


Figura 2.28 Esquema de la red de afluentes del Duero. Fuente: Cabero, *et al.* 1996. *Cit. supra.* T. 2. pg. 117

La copiosa precipitación recogida por la orla montañosa y las reservas de nieve aseguran la fuente de alimentación de los principales afluentes, así como el caudal medio relativamente regular del colector central. Del mismo modo, la alimentación nivo-pluvial, o pluvio-nival de los afluentes atenúa el estiaje y permite la utilización de los recursos hídricos en tiempos de carencia.

111 Bosque Maurel, J., Vilá Valentí, J., (1990). Geografía de España. T.6. Castilla y León. Ed. Planeta Barcelona.

Los afluentes del Duero tienen importantes diferencias en cuanto a recorrido, cuenca drenada, régimen, caudal y contribución final a los recursos hídricos de la región. Los nacientes en la Cordillera Central, muestran la irregularidad propia de los ríos mediterráneos, con excepción del Tormes; los procedentes de la Cordillera Cantábrica y del macizo galaico-leonés disfrutan de mayor caudal y menor irregularidad, a la par que la superficie de cuenca es muy superior; los ríos Esla y Pisuerga y sus respectivas cuencas son los colectores más relevantes de la red hidrográfica, con importantes infraestructuras de regulación de caudal desde sus cabeceras. En contraposición, otros ríos y arroyos, como el Valderaduey, tienen unas características más autóctonas y su dinámica se encuentra a merced de la geo-climatología de una pequeña región; son característicos de la llanura central, con alimentación preferentemente pluvial, gran irregularidad mensual e interanual de caudal: los cauces secos o casi secos del verano se desbordan en otoño o primavera provocando cambios de dirección en el lecho mayor o en los meandros.

<i>Afluentes vertiente meridional</i>	<i>Caudal medio anual aportado al Duero Hm³</i>
Cega, Pirón, Duratón, Riaza	1075
Adaja, Eresma, Voltoya	723
Tormes	1752
Huebra, Agueda, Yeltes	1148
<i>Afluentes vertiente Septentrional</i>	<i>Caudal medio anual aportado al Duero Hm³</i>
Esla	5281
Tera, Aliste	900
Orbigo	1224
Omañas, Tuerto, Eria	691
Bernesga	712
pomar	601
Cea	432
Pisuerga	2586
Valderaduey	183
Carrión	657
Valdavia, Odra	133
Arlanza, Arlanzón	1476
Riutuerto, Ucero, Sequillo	413
Esgueva	75

Tabla 2.9 Caudal medio aportado al Duero por los principales afluentes.

Fuente, MOPU, Plan Hidrológico Nacional 1989

<i>Afluentes vertiente meridional</i>	<i>Longitud Km</i>	<i>Cuenca Km²</i>
Riaza	114	1081
Duratón	147	1450
Cega	147	2968
Eresma	124	2968
Adaja	191	5275
Trabancos	78	728
Tormes	284	7257
Huebra	123	2865
Agueda	133	2409

<i>Afluentes Vertiente septentrional</i>	<i>Longitud Km</i>	<i>Cuenca Km²</i>
Arlanzón	125	2658
Arlanza	159	5380
Pisuerga	280	15828
Carrión	193	3407
Valderaduey	177	3558
Sequillo	115	1485
Cea	175	1997
Esla	285	16081
Porma	80	1143
Bernesga	84	1174
Orbigo	108	5039
Tera	153	2409

Tabla 2.10 Superficie de las cuencas de los afluentes del Duero y longitud de los cursos fluviales.
Fuente BCN 200

La regulación de caudales de la cuenca del Duero por medio de embalses y canales merece una detallada observación. El esquema de la figura 2.28 incluye los embalses (hasta 1985) y el recorrido de los canales en la Cuenca del Duero. La tabla 2.11 completa a la citada figura ya que añade los embalses en explotación de las cuencas periféricas.

El control de las aguas impuesto por la ingeniería hidráulica sobre la cuenca del Duero haría difícil reconocer la dinámica natural de su flujo; hasta cierto punto, las situaciones de desastre por avenidas o sequías quedan mitigadas por el equilibrio y control de las infraestructuras. En términos generales, la disponibilidad de recursos queda asegurada para cubrir las necesidades humanas, agrícolas, urbanas e industriales, aunque más adelante apuntaremos algunos problemas existentes en el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la Comunidad. De los 20000 hm³ recibidos anualmente sobre toda la Comunidad, 14000 hm³ corresponden a la cuenca del Duero, donde el 50% se derrama sobre las cabeceras montañosas de los tributarios. Gracias a la red de presas (80), resulta útil la mitad del agua precipitada.

En comparación con los valores presupuestados por la Unión Europea (1996)¹¹² de recursos y necesidades hídricas de la población, Castilla y León, y más en concreto la Cuenca de Duero, se encuentra en una situación privilegiada y excedentaria; mientras que el baremo europeo de necesidades hídricas es de unos 2460-2600 m³/hab/año, la cuenca del Duero genera 6625 m³/hab/año, y eso frente a la media de España (3180 m³/hab/año).

La afirmación anterior debe leerse con cautela, y así lo hace el Comité de las Regiones de la Unión Europea en su evaluación de los recursos hídricos y de las sequías en los

¹¹² European Commission (1996). Report on the State of the Environment, relative to the application of the *Fifth Framework Programme of the EC for Sustainable Development* (10.01.1996). European Union, Office for Official Publications, Luxembourg

países del sur de la Unión (1995)¹¹³, ya que no incluye la cuantificación destinada a cubrir las necesidades hídricas para la agricultura, la actividad más consumidora de agua, que en Castilla y León es más elevada que en europea por la sequía estival y que, de hecho deja a esta región en situación de déficit hídrico durante al menos dos meses.

A finales de los años '80, los embalses de la comunidad aglutinaban el 19,17 % de la capacidad de agua embalsable en España (45138 Hm³). Aunque los embalses de las cabeceras de cuencas son estratégicos para el control de la zona fuente, los situados en los tramos finales previos a la confluencia con el Duero o justo antes del cruce fronterizo en Los Arribes son los de mayor capacidad y generación hidroeléctrica. Por ejemplo, los embalses de Almendra (Tormes) y Ricobayo (Esla), suman el 44 % de la capacidad regional, estando ambos especializados en la producción energética, junto a los de Aldeadávila y Saucelle (Duero). El uso prioritario dado a los demás embalses suele ser para regadío (ej. , Barrios de Luna, Riaño, Porma) o para abastecimiento urbano.

Cuenca Norte	Río	Provincia	Capacidad (Hm ³)
Anllarinos	Anllarinos	León	0.70
San Sebastián	Bibey	Zamora	46.00
Montearenas	Boeza	León	1.80
Pelgo	Burbia	León	2.00
Ordunte	Ordunte	Burgos	22.00
Las Rozas	Sil	León	28.00
Bárcena	Sil	León	341.00
Fuente del Azufre	Sil	León	2.50
La Campaña	Sil	León	13.80
Peñarrubia	Sil	León	12.00
Valdesirgas	Valdesirgas / Sil	Zamora	0.40
Matalavilla	Valseco / Sil	León	65.00
Cuenca del Duero	Río	Provincia	Capacidad (Hm ³)
El Milagro	Almar	Ávila	1.60
El Duque	Aravalle	Ávila	2.20
Agueda	Agueda	Salamanca	22.00
Arlanzón	Arlanzón	Burgos	20.00
Becerril	Becerril	Ávila	1.90
Cárdena	Cárdena	Zamora	1.50
Garandones	Cárdena	Zamora	0.80
El Carrascal	Carrascal	Segovia	0.20
Camporredondo	Carrión	Palencia	70.00
Campuerto	Carrión	Palencia	95.00
Velilla de Guardo	Carrión	Palencia	1.80
Casares de Arbás	Casares	León	7.00
Cuerda del Pozo	Duero	Soria	229.00
Los Rábanos	Duero	Soria	8.00
San José	Duero	Valladolid	6.00
Villalcampo	Duero	Zamora	61.00
Castro	Duero	Zamora	38.00
Aldeadávila	Duero	Salamanca	115.00
Saucelle	Duero	Salamanca	169.00
Burgomillodo	Duración	Segovia	15.00
Las Vencias	Duración	Segovia	5.0
Encinas	Eras	Valladolid	0.70
Riaño	Esla	León	664.00

¹¹³ European Union Regions Committee (1995). Opinion approved on measures to combat the socio-economic and environmental impact of drought in Southern Europe, towards a European policy of hydric resources. 19 July 1995, (ECOD 96/C 100/12). Luxembourg.

Ricobayo	Esla	Zamora	1148.00
Besandino	Grande	León	2.70
Barrios de Luna	Luna	León	308.00
Selga	Luna	León	2.30
Magdalena	Magdalena	Segovia	0.20
El Espinar	Moros	Segovia	0.30
El Tejo	Moros	Segovia	1.60
Los Angeles	Moros	Segovia	1.70
Peces	Peces	Segovia	0.10
La Requejada	Pisuerga	Palencia	65.00
Aguilar de, Campoo	Pisuerga	Palencia	247.00
Porma	Porma	León	318.00
Linares del Arroyo	Riaza	Segovia	58.00
Ruesga	Rivera	Palencia	10.00
Puente Alta Revenga	Riofrio	Segovia	2.50
Benamarías	Salguiral	León	0.30
Playa	Segundera	Zamora	0.50
Puente Porto	Segundera	Zamora	23.00
Vega de Conde	Tera	Zamora	0.90
Cernadilla	Tera	Zamora	255.00
Santa Teresa	Tormes	Salamanca	496.00
Villagonzalo	Tormes	Salamanca	6.0
Almendra	Tormes	Salamanca	2649. 00
Villameca	Tuerto	León	20.00
Valdesamarino	Valdesamarino	León	0.20
Serones	Voltoya	Ávila	6.00
Cuenca del Tajo	Río	Provincia	Capacidad (Hm³)
Guijo de Granadilla	Alagón	Ávila	13.00
Burguillo	Alberche	Ávila	217.00
Charco del Cura	Alberche	Ávila	3.50
San Juan	Alberche	Ávila - Madrid	146.00
Becedas I y II	Becedas	Ávila	0.70
Garganta Elisa	Tietar	Ávila	0.10
Navalperal de Pinares	Maillo	Ávila	0.40
Ciudad Ducal	Retuerta	Ávila	0.30
Arenas de San Pedro	Riocuevas	Ávila	0.50
Riofrío	Riofrío	Salamanca	0.10
Valtraviés	Valtraviés	Ávila	0.50
Hinchona	Yedra	Ávila	1.30
Cuenca del Ebro	Río	Provincia	Capacidad (Hm³)
Cereceda	Ebro	Burgos	1.30
Ebro	Ebro	BurgosSantander	540.00
Cillaperlata	Ebro	Burgos	0.20

Tabla 2.11 Capacidad de los embalses de las cuencas hídricas de Castilla y León. Fuente, MOPU. Dirección General de Obras Hidráulicas. Estadística embalses y producción energía eléctrica. Plan de Desarrollo Regional de Castilla y León 1989-1993. Consejería de Economía y Hacienda. Junta de Castilla y León. 1991.

2430. CUENCAS HÍDRICAS PERIFÉRICAS

Ríos como el Sil, Sella, Cares, Cadagua, Oca o Rudrón, tienen en común que todas sus cabeceras de cuenca se sitúan en los rebordes montañosos castellano-leoneses al tiempo que vierten sus aguas en sentido centrífugo a la cuenca del Duero. En cuanto a las surgencias de origen, se encuentran casi siempre por encima de los 1500 m, lo que va a marcar el origen, estacionalidad y caudal de sus aguas. Todos se alimentan de las precipitaciones de ritmo Atlántico, abundantes todo el año con un mínimo estival no muy acusado. La altura obliga a que el control de escorrentía de la precipitación sea pluvio-nival. A pesar de que la regularidad de caudal es mas constante que en el caso de

los ríos que desde la cantábrica vierten al Duero, las curvas de caudal evidencian ritmos de aguas altas en invierno hasta pasado el deshielo, que tiene lugar entre los meses de abril y mayo

La cuenca alta del Sil abarca casi 4.000 Km² en el sector occidental de la provincia de León, recorriendo las comarcas de Laciana, El Bierzo y Cabrera baja. El río Sil es el colector principal en esta fosa tectónica, tanto por su longitud -unos 110 km. desde los altos de Somiedo hasta Puente Domingo Flórez- como por su caudal: 11,4 m³/s en las Rozas, 21,5 m³/s en Bárcena y 35,3 m³/s en Peñarrubia. El caudal del tramo alto está regulado por un régimen nival, con aguas altas entre abril y mayo, y caudales medios superiores a 30 m³/s durante el deshielo; el estiaje es máximo a finales de verano, registrando un caudal medio de 2 m³/s en el mes de septiembre. La escorrentía procedente de las sierras que bordean la fosa del Bierzo (Ancares, Bierzo, Gistredo y Montes Aquilanos) proporcionan al Sil un caudal medio anual constante y abundante (2650 hm³) de origen pluvio-nival o nivo-pluvial, lo que supone una base asegurada de aprovechamiento hidroeléctrico. Otra de las cabeceras de cuenca que vierte su drenaje hacia el Sil es la del valle de Bibey, en la provincia de Zamora.

Las cabeceras tributarias del Navia son los valles de Balouta y Suarbol, también localizadas en el sector noroccidental de León (Los Ancares), mientras que los ríos Sella y Cares, en los valles de Valdeón y Sajambre respectivamente, surcan el sector nororiental de la provincia en su avance hacia el Cantábrico. La cabecera de drenaje Cantábrico más oriental en el territorio de Castilla y León es la del río Cadagua, en el Valle de Mena (Burgos). El régimen hídrico de todas estas pequeñas subcuencas periféricas es Atlántico pluvio-nival o nivo-pluvial.

Los extremos nororientales de Burgos y Soria vierten sus aguas a la cuenca del Ebro. Hasta Miranda de Ebro, el colector principal de esta cuenca se encaja en las plataformas calcáreas de Las Loras, en amplios meandros a modo de grandes lazos. Lo mismo ocurre con los afluentes de este sector (Nela, Jerea y Omecillo por la izquierda y Rudrón, Homino, Oca y Tirón por la derecha), que se adaptan a las alineaciones estructurales o de plegamiento, horadando profundas incisiones en los sedimentos calizos. Por otra parte, el sustrato calizo ha propiciado modelados kársticos e importantes reservas en acuíferos subterráneos. En cuanto al régimen del Ebro y sus afluentes en el sector burgalés, está regido por la influencia oceánica, con escaso control nival; el caudal medio en la estación de aforo de Miranda de Ebro es de 82 m³/s. La abundancia de caudal y la regularidad de los aportes han quedado controlados por los embalses de Cereceda, Cillaperalta y Ebro, este último más en Santander que en Burgos.

Los afluentes Sorianos del Ebro, (Alhama, Quiles, Nájima, Jalón,...) contrastan con los anteriores al situarse a mayor distancia de la influencia oceánica: sus regímenes tienen mayores contrastes y estiajes, a veces absolutos; el caudal medio es escaso, favorecido por infiltraciones kársticas y derivaciones a riegos ribereños. Las grandes irregularidades interanuales se deben en parte a la localización intra-Ibérica de estos

tributarios del Ebro que ocasiona fuertes avenidas y riadas por lluvias torrenciales muy localizadas.

Entorno a las sierras de Gredos y Bejar, Peña de Francia y parte de la sierra de Gata se encuentran los 3996 Km² de la cuenca alta del Tajo del territorio castellano-leonés. Tres son los ríos que desde estas cumbres buscan el Tajo: el río Alberche, que surca el sur de la sierra de Malagón, la paramera de Ávila y la vertiente septentrional de Gredos hasta llegar al embalse de Burguillo; el río Tietar, colector principal de la escorrentía de la vertiente meridional de Gredos; y el río Alagón, que desde la penillanura salmantina se abre paso por la sierra de Francia. La abundante pluviometría de estos núcleos montañosos hace que el caudal de estos ríos sea relativamente constante y cuantioso, “aunque con una irregularidad interanual notable, en la que influyen decisivamente el mayor o menor manto nival y los efectos pluviométricos derivados de la pantalla orográfica que ejercen las sierras frente a las masas de origen subatlántico y de circulación meridiana, que se traducen en el régimen de los ríos en un máximo primaveral y en un fuerte estiaje estival”(Cabero, *et al.* 1996. *Cit. supra.* T. 2. pg. 166).

2440. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

Según datos elaborados por el MOPTMA, un 18% de la precipitación caída sobre Castilla y León percola en el sustrato, manteniendo o engrosando los niveles freáticos. Los materiales paleozoicos del borde de la región son poco permeables, por lo que los acuíferos más desarrollados se encuentran en las extensas áreas de depósitos mesozoicos, terciarios y cuaternarios. Distinguiremos los acuíferos subterráneos en tres grandes tipos, atendiendo a los materiales y formaciones sobre las que se desarrollan:

1. Acuíferos superficiales, situados sobre terrazas y depósitos aluviales, y explotados normalmente para fines domésticos y agrícolas locales.
2. Acuíferos de páramos detríticos y rañas, localizados bajo esas extensas formas de terreno en el norte de Palencia y León.
3. Acuíferos bajo páramos calcáreos; el agua percola por las calizas diaclasadas hasta los niveles de margas impermeables.
4. Acuíferos de los arenales del sur del Duero, en Ávila y Segovia. La gran permeabilidad de las arenas y la horizontalidad de los materiales subyacentes aseguran la infiltración y permanencia local de las aguas.

2450. PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL USO DE RECURSOS HÍDRICOS

En realidad la problemática derivada de la explotación y aprovechamiento de recursos hídricos es casi igual y común a cualquier cuenca hidrográfica; de hecho, el V Programa de Acción en Materia de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible implantado por la Unión Europea. (5EAP, 1993)¹¹⁴, enumera dos grandes tipos de problemas a gestionar en materia de recursos hídricos: su escasez y la contaminación de los mismos.

¹¹⁴ Council of Europe. (1993). A European Community Programme of policy and action in relation to the environment and sustainable development. (93/C 138/01). Resolution of the Council and the

¿Cuál la situación actual en Castilla y León respecto a la disponibilidad de agua y la demanda para usos agrícolas, urbano-industriales y humanos?. ¿Que control se ejerce sobre la contaminación de aguas superficiales y subterráneas?. ¿Cuál es la calidad ecológica de sus aguas?.

El abastecimiento hídrico urbano no es el más consumidor, pero si el más exigente en cuanto a calidad del agua se refiere. En Castilla y León, las ciudades principales se abastecen de aguas de la red de embalses, cuya calidad regula el Plan Director de Infraestructura Hidráulica Urbana (1994)¹¹⁵; los núcleos urbanos de las llanuras y páramos se abastecen en mayor medida del bombeado de acuíferos subyacentes mientras que las localidades de la orla montañosa recurren a fuentes y surgencias locales. “A finales de agosto suele haber unas 200 de estas localidades con problemas de abastecimiento, que afectan a unas 60.000 personas entre residentes y veraneantes; los extremos suroccidentales de Ávila y Salamanca son los más afectados por la sequía” (Junta de Castilla y León, 1997, *Cit. supra*, pp 77).

Frente al abastecimiento urbano más o menos logrado hay que señalar, como contrapartida, el impacto que ocasionan los vertidos urbanos e industriales en forma de elementos orgánicos y metales pesados, sobre todo en los tramos medios y bajos de los cursos. Lógicamente, la situación se agrava en época de estiaje. El retroceso de salmónidos, la eutrofización de las aguas o la degeneración de las cuencas de cabecera, sobre todo las del sistema central, son algunos de los desequilibrios ecológicos infringidos. Las medidas correctoras adoptadas por la administración local consisten en la ejecución de plantas depuradoras, según el Plan de Saneamiento para la depuración de vertidos de núcleos que superen los 2000 habitantes, con el fin de hacer efectiva la Directiva Comunitaria en materia de calidad de aguas CEE/91/271. El problema de la depuración de aguas arrastra consigo múltiples dificultades de no fácil solución ya que al coste de la infraestructura hay que añadir el de mantenimiento a costa de los desajustes presupuestarios municipales

El suministro de agua a explotaciones agrícolas en regadío es la actividad que requiere mayores aportaciones de éste recurso. Por otra parte, los regadíos soportan mayores densidades de población y de renta per cápita dentro del ámbito rural. Castilla y León tiene en la actualidad 500.000 ha en regadío, lo que significa algo menos del 10% de la superficie labrada concentrada de la Comunidad, y tan solo un 6% de la superficie de la cuenca del Duero, mientras que la media de superficie regada en el resto de las cuencas hídricas de la península es del 12%. Puesto que la superficie en regadío es menor que la

Representatives of the Governments of the Member States, meeting within the Council of 1 February 1993 on a Community Programme of policy and action in relation to the environment and sustainable development. Luxembourg.

115 Junta de Castilla y León (1994). Plan Director de Infraestructura Hidráulica Urbana. Decreto 151/1994, de 7 de Julio de 1994. Valladolid.

media para las otras cuencas, existen tres planes para la ampliación de regadíos en la Cuenca del Duero hasta el 2015, con criterios y cuotas de ampliación muy dispares.

- Ampliación de los regadíos en 320.000 ha., según el Plan Hidrológico del Duero
- Ampliación de los regadíos en 90.000 ha., según el Plan Hidrológico Nacional
- Ampliación de los regadíos en 190.000 ha, según el Plan Nacional de Regadíos.

Estas tres cifras propuestas por sendos organismos con competencias sobre los intereses y elementos que convergen en la gestión del agua para abastecimiento agrario evidencia la disparidad de criterios que se ciernen sobre este bien renovable pero escaso. El ajuste entre elementos económicos, ecológicos, agrarios, humanos, de infraestructuras, etc. no es fácil y en este respecto mucho pueden ayudar las técnicas de observación remota, entendidas siembre como una herramienta de trabajo, aunque no único ni infalible. En el siguiente apartado reseñamos brevemente cómo está contribuyendo la teledetección en la gestión de recursos hídricos.

Parte de la racionalización de la gestión del agua destinada a regadío requiere también aumentar la eficiencia de los sistemas de regadío empleados, el estado de las canalizaciones para evitar pérdidas. En la actualidad, más de 200.000 ha se riegan por pie en Castilla y León, sistema por el que se llegan a perder 500 hm³ (Junta de Castilla y León, 1997, *Cit. supra*, pg, 82). El problema más inmediato con los acuíferos subterráneos, es la falta de control exacto de los puntos de extracción, el volumen sustraído, y el seguimiento de la recarga de los niveles freáticos.

A pesar de las deficiencias señaladas, las cabeceras de varios ríos gozan de un alto índice biológico gracias a la buena calidad de sus aguas: Duero, Arlanzón, Carrión, Esla, Porma, Bernesga, Órbigo, Tera, Rianza, Eresma, Tormes y Carrión. La presencia de especies como la trucha común, muy exigentes a parámetros como la oxigenación o ausencia de nitratos, evidencian el equilibrio del sistema.

2460. LA TELEDETECCIÓN COMO HERAMIENTA PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS DE CUENCA.

Al pretender estimar los recursos hídricos ayudados por la teledetección se hacen presentes muchos temas asociados que pueden ser evaluados con mayor o menor éxito: control de aguas superficiales corrientes o embalsadas, acuíferos subterráneos, pantanos y lagunas y afloramientos someros, humedad del suelo, evapotranspiración, humedad en tejidos vegetales, estrés hídrico, índice de precipitación, temperatura del suelo, extensión de nieves y hielos, modelos de escorrentía e infiltración, turbidez, calidad de aguas, niveles tróficos, límites de las riberas de inundación, estructuras hidrogeomorfológicas, cartografía de humedales, cultivos en regadío, vertidos urbanos, etc. La enumeración no es exhaustiva, pero suficiente para entrever la complejidad que entraña la estimación de los recursos hídricos.

En realidad, el uso de los datos de satélite para fines hidrológicos complementa y da un paso adelante contando con los parámetros climáticos medidos por satélite (p. ej.

PDUS). Es muy conveniente y más exacto contar con ellos. La presencia de recursos hídricos en el suelo tiene relación directa con parámetros climáticos tales como la precipitación, temperatura, evaporación, humedad atmosférica, viento, etc. A partir de los datos de las bandas visibles, infrarrojas y térmicas también se pueden inferir valores de parámetros hídricos; la periodicidad de las observaciones informa sobre los niveles de cambio de la vegetación, contenido de humedad en el suelo, albedo y temperaturas de superficie. Estos parámetros determinan el balance energético de la superficie, de la que se deriva la evapotranspiración potencial y por ende la necesidad de agua.

Algunos estudios relevantes sobre el cálculo de parámetros hídricos en el suelo, en ambientes de régimen climático mediterráneo son los de Kerr *et al.* (1989)¹¹⁶, Vidal y Perrier (1990)¹¹⁷, Seguin (1991)¹¹⁸, Caselles *et al.* (1992)¹¹⁹, Caselles (1994)¹²⁰, Vogt y Vossen (1995)¹²¹, Vogt (1995)¹²² y 1996¹²³).

Salomonson (1983)¹²⁴ y López Baeza (1991)¹²⁵ advierten sobre las dificultades inherentes a la medición del contenido de humedad en el suelo y a la evapotranspiración desde el espacio, aunque, dada la importancia de este tema, mucho se ha invertido y avanzado para lograr algoritmos capaces de determinar el contenido de humedad según las diversas propiedades de los suelos y estructuras geomorfológicas. La complejidad del análisis geohidrológico mediante imágenes de satélite deriva del hecho que, el objeto directo de análisis, el agua, no se manifiesta directamente en las imágenes. Esto no debe de tomarse como un argumento en contra del uso de esta técnica ya que, por regla general el hidrólogo o el hidrogeólogo debe de inferir las condiciones de humedad del

-
- 116 Kerr, Y., Imbernon, J., De Dieu, G., Hauteceur, O. Lagouarde, J.P. and Seguin, B., (1989). NOAA-AVHRR and its uses for rainfall and evapotranspiration monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 10, pp. 847-854.
 - 117 Vidal, A., Perrier, A., (1990). Control of irrigation by following the water balance from NOAA-AVHRR thermal IR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, 5, 949-954.
 - 118 Seguin, B., Lagouard, J.P. and Savanne, M., (1991). The assessment of regional water conditions from meteorological satellite thermal infrared data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 35, pp. 141-148.
 - 119 Caselles, V., Delegido, J., Sobrino, J.A., Hurtado, E., (1992). Evaluation of the maximum evapotranspiration over the La Mancha region, Spain, using NOAA-AVHRR data. *Int. J. Remote Sens.*, 13 (5), 939-946.
 - 120 Caselles, V., (1994). Mapping actual evapotranspiration by combining Landsat-TM and NOAA-AVHRR images. *Proceedings of the Workshop on Thermal Remote Sensing, La Londe Les Maures, France, 20-23 September 1993 (CEMAGREF Ed.)*, 309-312
 - 121 Vogt, J.V., Vossen, P. (1995): Suivi des ressources hydriques de la zone méditerranéenne au nord: premiers résultats du projet HYDRE.- In: J.-M. Dubois, M.R. Boussema, F. Boivin & P. Lafrance (eds.). *Télédétection des ressources en eau*. (Presses de l'Université du Québec, Série Actualité scientifique), Sainte-Foy, Québec, Canada, pp. 193-201.
 - 122 Vogt, J.V. (1995): The Use of Low Resolution Satellite Data for Crop State Monitoring. Possibilities and Limitations. En: J.F. Dallemand & P. Vossen (eds.), *Agrometeorological Models: Theory and Applications in the MARS Project*. (EUR 16008 EN) Luxembourg, pp. 223-240
 - 123 Vogt, J.V. (1996): Land Surface Temperature Retrieval from NOAA AVHRR Data.- in: G. D'Souza, A. Belward & J.-P. Malingreau (eds.), *Advances in the Use of AVHRR Data for Land Applications*. (Kluwer Academic Publishers) Dordrecht, Boston, London., pp. 125-151.
 - 124 Salomonson, V. V., (1983). Water Resources Assessment. En: *Manual of Remote Sensing*. Vol II. Chp. 29. American Society of Photogrammetry. Sheridan Press. Falls Church. Virginia.
 - 125 López Baeza, E., (1991) Climatología desde satélites. En *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: agricultura*. S. Gandía y J. Meliá Coord. Universitat de Valencia. Estudi General. Unidad de Teledetección. Departament de termodinàmica.

suelo a partir de indicadores en superficie tales como geoformas, estructuras lineales, características del flujo de los cauces, anomalías en la humedad del suelo y distribución de la vegetación.

El término *acuífero* debe tratarse con cuidado al relacionarlo con imágenes de satélite; en términos hidrológicos un acuífero se define por los coeficientes de percolación y transmisión, la capacidad, la profundidad de la tabla de aguas, la altitud de la cabecera artesisana, etc. La teledetección no proporciona estas propiedades de los acuíferos más allá de lo que pueda ayudar la interpretación fotogramétrica convencional. Según la aplicación del análisis, las imágenes de satélite pueden aportar información suplementaria y a menor coste que la fotogrametría; la decisión queda al arbitrio del analista, de los objetivos del trabajo y del presupuesto asignado al mismo. Al utilizar imágenes para análisis hidrológicos de detalle habrá que tener muy en cuenta las características de las escalas, la fecha de la toma y las distorsiones atmosféricas que puedan encubrir matices vitales para distinguir signos de aguas subyacentes. Su uso puede resultar muy útil y ajustado a presupuestos en evaluaciones de proyecto, cuando se necesitan vistas sinópticas o exámenes rápidos de un área, pero las comprobaciones de campo son absolutamente necesarias en esta aplicación. No se puede fiar la certeza de presencia de aguas en suelo en el solo reconocimiento de formas o en el contraste de tonos y texturas en distintas combinaciones de bandas.

Con imágenes de alta resolución se puede llegar a inferir la mayor o menor abundancia de agua en suelo a partir de los materiales que afloran o según la cantidad, longitud y profundidad de formas lineales. En imágenes Landsat se puede detectar la presencia de acuíferos y algunas de sus características a partir de:

1. La geología emergente, en razón de:
 - Topografías propicias a acuíferos
 - Formas bandeadas de rocas sedimentarias, evidenciadas también por la vegetación
 - Formas de las cuencas de drenaje
 - Patrones de densidad y textura de las líneas de drenaje.
 - Presencia relativa de lagos, formas lacustres heredadas y su localización.
 - Presencia de algunos tipos de vegetación autóctona o asociación de hidrófilas.
2. La presencia de estructuras más o menos lineales, como pueda ser:
 - Continuidad de canales de drenaje lineales, riachuelos, lagunas o charcas alargadas.
 - Distribución de asociaciones vegetales autóctonas en patrones longitudinales o alternancias longitudinales de vegetación más densa con otras menos densas.
 - Alineaciones bicolores de un mismo suelo, alternando tonos oscuros y claros.

Otro de los grandes temas hídricos que se pueden abordar con la teledetección es el cálculo del contenido de humedad en el suelo, lo que a su vez exige una nueva pericia: la clasificación de suelos. Pero la tarea es importante puesto que la humedad retenida en las capas superficiales del suelo es un porcentaje importante dentro del balance hídrico global tierra-atmósfera, además de tener importancia para otras ciencias afines como la climatología o la agronomía. En análisis estrictamente hidrológicos, el dato de la

cantidad de agua en suelo es importante para poder determinar que cantidad de precipitación se pierde por escorrentía y que cantidad percola en el terreno. La capa de suelo que interesa considerar en estos estudios es aquella que interacciona con la atmósfera por flujos de evapotranspiración; su profundidad dependerá del tipo de vegetación que sustente y de la profundidad que alcancen las raíces según la especie y el desarrollo (1-2 m). La fluctuación de humedad de esta capa es la respuesta a la precipitación y a la evapotranspiración. Se entiende fácilmente que el equilibrio de cálculo de factores es complejo, por lo que los algoritmos logrados se mantienen en continua revisión tratando de adaptar los cálculos a las características intrínsecas de los suelos y clima de una zona dada. No podemos dejar de apuntar la encomiable labor que en este tema ha desarrollado en Europa la universidad de Wageningen (Holanda), y en Estados Unidos el *US Water Conservation Laboratory* (Phoenix, AZ).

Quizá, la situación ideal para calcular el contenido de humedad en el suelo sea que este se encuentre desnudo; pero pocas veces lo encontramos desprovisto, al menos, de una dispersa capa vegetal y, en cualquier caso esas áreas desiertas son las que menos atraigan estudios de humedad del suelo. Dicho de otro modo, la mayor parte de las veces encontraremos los suelos con una cubierta vegetal, ya sea ésta espontánea o cultivada. A través de la vegetación se puede estimar indirectamente la disponibilidad de humedad en suelo de la zona radical de las plantas: Jackson *et al.* (1978)¹²⁶ demostraron que el estrés hídrico de la planta depende de la relación que guardan la temperatura de la superficie vegetal con la temperatura del aire. Por ejemplo, si la temperatura de una cubierta vegetal se encuentra a unos pocos grados por debajo de la temperatura ambiente es señal de que los tejidos evaporan agua libremente refrescando así la planta e indicando la disponibilidad de humedad en la zona radical; por el contrario, si la temperatura de la cubierta es igual o superior a la temperatura ambiental, es muy probable que los tejidos se encuentren bajo mínimos de hidratación, relacionándose con mínimos de humedad en suelo. Jackson *et al.* (1980)¹²⁷, desarrollaron este postulado hasta lograr una expresión capaz de calcular el estrés hídrico de cultivos a partir de varios elementos del balance de energía. El índice logrado se denominó Índice de Estrés Hídrico de Cultivos (CWSI, Crop Water Stress Index), según la expresión:

$$T_c - T_a = \frac{\gamma(1 + r_c/r_a)}{\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a)} \cdot \frac{r_a R_n}{\rho c_p} - \frac{e_s - e}{\Delta + \gamma(1 + r_c/r_a)}$$

Donde,

$T_c - T_a$ es la diferencia de temperatura entre la cubierta y el aire

γ es la constante psicrométrica de Pascal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$).

126 Jackson, R. D., Cihlar, J., Estes, J.E., Heilman, J.L., Ralke, A., Kanemasu, E.T., Millar, J., Price, J., Wiegand, C., (1978). Soil moisture estimation using reflected solar and emitted thermal radiation: Chapter 4 of soil moisture workshop: NASA conference publication 2073, 219p.

127 Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., (1980). Remotely sensed crop temperatures and reflectances as inputs to irrigation scheduling. *Proceedings ASCE Specialty Conference*. Boise. Idaho.

- Δ , es el valor de ángulo entre la relación de la temperatura y la presión del vapor de agua en el punto de saturación, evaluada en la media de T_c y T_a .
- r_c , es la resistencia del cultivo ($s\ m^{-1}$).
- r_a , es la resistencia aerodinámica ($s\ m^{-1}$).
- R_n , es la radiación neta ($W\ m^{-2}$).
- ρ , es la densidad del aire ($Kg.\ m^{-3}$).
- c_p , es el calentamiento específico del aire ($J\ Kg.\ ^{-1}\ C^{-1}$).
- e_s , es la presión del aire en el punto de saturación vapor de agua a temperatura T_a (Pascal).
- e , es la presión del vapor de agua en el aire (Pascal).

El CWSI fue el primero de toda una serie de índices que se han refinado y ajustado a las variantes locales. Nuestra intención al citarlo en esta sección no es otra que la de mostrar la cantidad de parámetros climáticos y de balance energético que hacen falta en el cálculo del balance hídrico. Por otra parte, nada ni nadie mejor que los satélites de observación de la tierra tienen la capacidad de tomar esas medidas.

Las cubiertas de nieve y hielo tienen una respuesta espectral nítida, facilitando en buena medida su valoración y evolución a lo largo de las estaciones. Varias bandas de los satélites se muestran sensibles a distintas propiedades del agua sólida: en el visible e infrarrojo, la nieve tiene una altísima reflectancia por lo que el contraste con las zonas no cubiertas es nítido y relativamente fácil de cartografiar, excepto en el caso de hielos que arrastran gran cantidad de detritus. De nuevo la dificultad surge al tratar de cuantificar los volúmenes de agua encerrada en esas cubiertas de nieve y hielo. Para esta tarea se requiere, al menos, una buena información de la topografía subyacente con modelos de elevación del terreno que admitan comparación con las diferencias de altitud causadas por el manto nival. Otra dificultad es la del frecuente cubrimiento de nubes sobre la nieve, que en el rango del visible obstaculiza la discriminación con la nieve. La dependencia del foco solar para trabajar en este rango imposibilita las mediciones de la capa de nieve en latitudes altas durante la prolongada noche polar. Las bandas del infrarrojo térmico son muy ventajosas para delimitar la nieve. Estas bandas salvan la ausencia de luz solar pero no la presencia e interferencia de nubes; las imágenes nocturnas o las del periodo de noche polar resultan útiles, por lo que se dobla el número de posibles observaciones útiles. Los datos de la región de las microondas permiten inferir características de la profundidad del manto nival además de penetrar a través de las capas de nubes.

Ya son numerosas las experiencias de gestión de recursos hídricos de cuenca con el apoyo de la teledetección, para suministro de la demanda agrícola. El Centro para la Observación de la Tierra (CEO) de la Unión Europea ha patrocinado varias de estas experiencias (CEO Demonstration Case Studies)¹²⁸ y, aunque las primeras tentativas se hicieron sobre la base de imágenes de alta resolución Landsat TM y SPOT, en la

¹²⁸ CEO DCS Ref. 619620 Management of irrigated perimeters in the Senegal river valley. CEO DCS Ref. 606399, Control of area based arable and forage subsidies using remote sensing in the UK. CEO DCS Ref. 607512, Monitoring the UK potato crop using satellite earth observation data

actualidad ya se están realizando controles de recursos hídricos mediante imágenes de alta temporalidad NOAA-AVHRR (CEO Proyectos Piloto)¹²⁹.

El interés del contenido de humedad en suelo no se limita tan solo a la agricultura; es un parámetro determinante de la tensión hídrica que puede llegar a soportar una masa forestal y de los umbrales límites de crecimiento saludable. Es un factor a tener siempre en cuenta para la prevención de incendios forestales: la presencia o ausencia de agua en el suelo se traduce inmediatamente en la presencia o ausencia de agua en los tejidos vegetales, incurriendo en niveles más o menos altos de peligro de ignición (Chuvieco y Martín, 1994)¹³⁰.

En una palabra, aunque el seguimiento del balance hídrico de una cuenca hidrográfica no resulte inmediato al entrar en combinación un amplio abanico de elementos dinámicos, precisamente por lo cambiante de esos elementos y la magnitud espacial que pueden llegar a abarcar, los cálculos por observación remota proporcionan, al menos, una primera aproximación al estado de la cuestión, al tiempo que pueden salvar la inexistencia o inaccesibilidad a datos del terreno o climáticos, ya que estos últimos también pueden proceder de satélites específicamente meteorológicos (Paquet *et al.*, 1996)¹³¹.

129 Proyecto HYDRE. Proyecto IRRIGASAT.

130 Chuvieco, E., Martín M (1994) Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 15: 3141-3146.

131 Paquet, F., Vogt, J.V., Viau, A. (1996). Régionalisation de la température de l'air à partir des données physiographiques et des images NOAA AVHRR. Cas de l'Andalousie.- JRC-SAI-AIS Technical Report, Ispra/Italy, 92 S.

2500 PAISAJE VEGETAL DE CASTILLA Y LEÓN

2510. INTRODUCCIÓN

La distribución de la vegetación natural de Castilla y León hace patente la combinación caleidoscópica del clima, suelos, topografía, geología, historia, etc. Este dominio, regido por lo Atlántico y lo Mediterráneo, es un ejemplo claro de la idea de *dinamismo ecológico-cultural* desarrollada por Montserrat (1998)¹³² para los grandes paisajes Mediterráneos, concebidos estos como sistemas con peculiares elementos geofísicos, bióticos y culturales.

La denominación de este capítulo como *paisaje vegetal* es intencionada. El paisaje vegetal es una consideración más rica que el simple inventario de especies naturalmente autóctonas de un territorio. Esta aproximación nos obliga a una lectura multitemática de las formaciones geobotánicas, y así intentaremos realizarla, si obviar la revisión de trabajos fitosociológicos clásicos, de autores que han estudiado con máximo rigor las asociaciones de especies en Castilla y León.

La distribución de especies vegetales sobre el territorio nos habla de numerosos temas afines y dependientes que no podemos obviar, máxime cuando muchos de ellos se relacionan con las técnicas de observación del terreno desde el espacio o quedan incluidas por la geocodificación en un sistema de información geográfica o de actualización cartográfica. Algunos de esos temas derivados del análisis del paisaje vegetal, de interés común para la teledetección y los SIG, son los siguientes:

- Planificación y gestión forestal.
- Control de biodiversidad.
- Repercusión en el medio de políticas forestales.
- Salud de espacios naturales y zonas agrícolas: incidencia de plagas.
- Control de propiedades forestales y explotación.
- Seguimiento y evaluación de repoblaciones.
- Prevención, seguimiento y evaluación de incendios forestales.
- Gestión biogeográfica y turística de espacios naturales protegidos.
- Cartografía de ocupación del territorio (especies mayoritarias/biocenosis).
- Actualización cartográfica.

Algunos de estos temas se tratarán al final del análisis de los paisajes vegetales de Castilla y León; el objetivo es proporcionar una visión del estado del arte del uso de la teledetección en el seguimiento de paisajes naturales.

Debemos también referirnos e introducir en este epígrafe el Proyecto *Land Cover* del Programa *CORINE* de la Unión Europea (Coordinación de la Información sobre Medio Ambiente). Esta base de datos ha sido material de trabajo y de constante referencia en

¹³² Montserrat Recoder, P. (1998). Dinamismo ecológico-cultural del paisaje mediterráneo. I congreso internacional sobre paisaje mediterráneo. Montpellier 14-16 junio 1993. Arias Abellán, J., y Founeau, F., Eds) Colección Monográfica Tierras del Sur. Universidad de Granada - Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Granada.

nuestro estudio. Aunque describimos con detalle sus características, objetivos de utilización y tratamiento informático en la sección 4510, aquí apuntamos la utilidad que nos ha proporcionado para entender la ubicación de cubiertas vegetales. La figura 2.29 muestra las categorías *CORINE* de vegetación natural en Castilla y León.

Con frecuencia se asocia vegetación natural con la idea de bosques. Esto no es correcto, aunque, a partir de los datos de *CORINE*, adelantamos las siguientes cifras para Castilla y León: 22,5% de la superficie de la Comunidad Autónoma se considera zona forestal con masa arbórea (Categorías 30000 de la clasificación *CORINE*, Anexo 2); este valor es dos puntos más bajo que para el conjunto nacional (24,7 %).

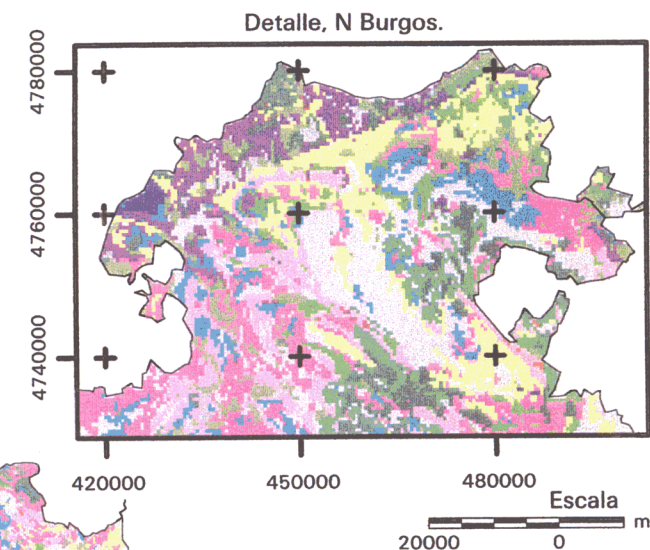
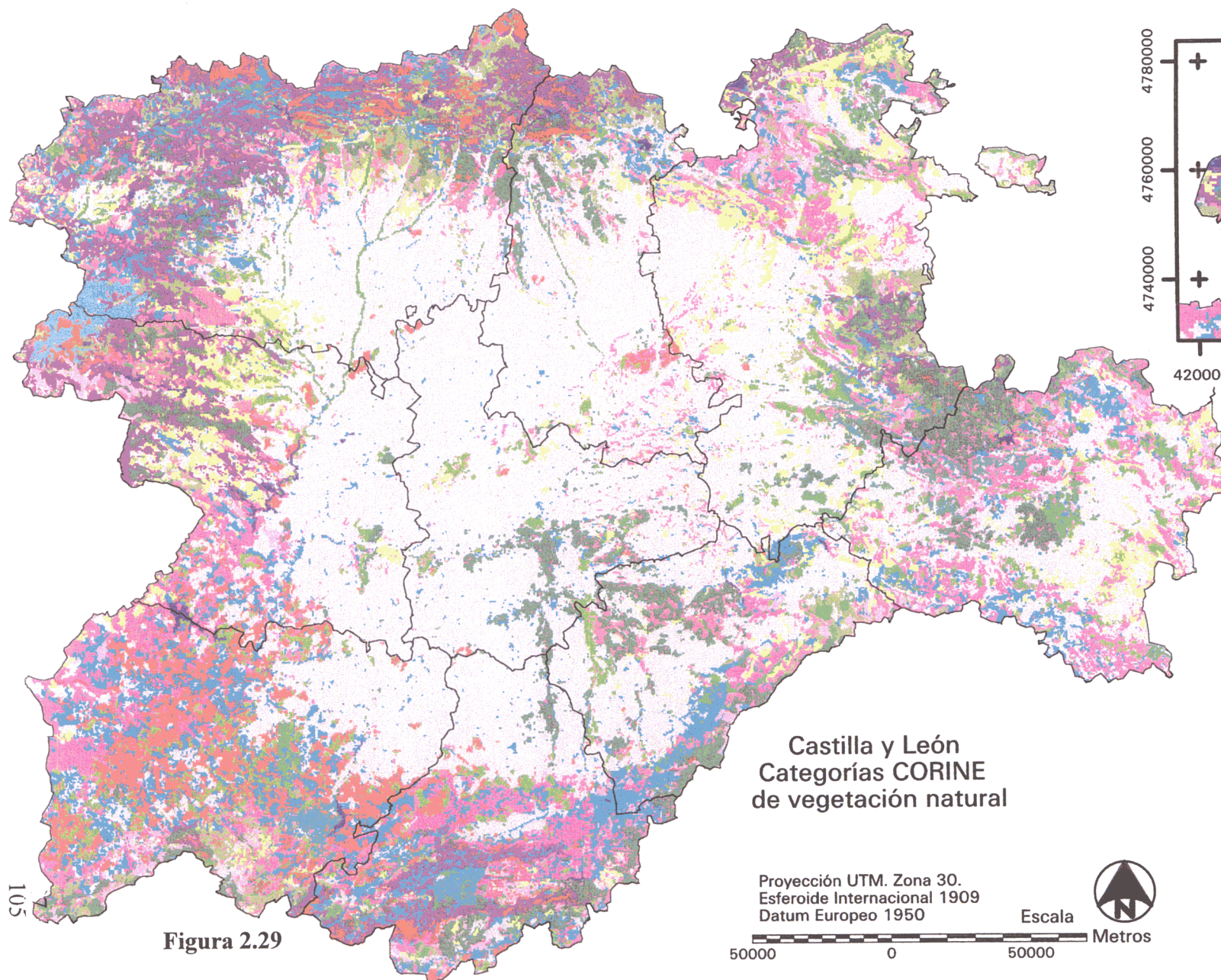
Superficie / especies forestales en Castilla y León		
Especie	Ha	% sup. arbolada
Pinos (<i>Pinus sylvestris</i> , <i>pinia</i> , <i>pinaster</i> y otros)	723.755	48,4
Encina (<i>Quercus ilex</i>)	332.040	22,2
Roble (<i>Quercus pyrenaica</i>)	263.028	17,6
Sabina Albar (<i>Juniperus thurifera</i>)	62.494	4,2
Haya (<i>Fagus sylvatica</i>)	47.513	3,2
Castaño (<i>Castanea sativa</i>)	17.126	1,1
Riberas	48.055	3,2
Total	1.494.011	100

Con el fin de no introducir criterios nuevos de descripción regional, presentamos los paisajes naturales de Castilla y León tomando como hilo conductor las grandes unidades geomorfológicas, aunque necesariamente haremos mención a condicionantes climáticos, edafológicos o humanos. Analizaremos con perspectiva paisajística las formaciones geobotánicas y la incidencia de la acción antrópica en: las campiñas, los páramos, las penillanuras del oeste y las montañas periféricas.

2520. GEOBOTÁNICA Y PAISAJE DE LAS CAMPIÑAS

Como hemos visto, las campiñas ocupan la tercera parte de la superficie castellano-leonesa, principalmente en los sectores centrales de la cuenca terciaria, entre 700 y 1000 m de altitud, dando lugar a relieves escasamente ondulados, donde solo la incisión de la red hídrica proporciona formas locales más accidentadas. Atendiendo a componentes edáficos, las campiñas admiten dos agrupaciones genéricas en arcillosas y arenosas.

Las **campiñas arcillosas**, entre 700 y 850 m de altitud, se extienden por la Tierra de Campos (tercio N de **Valladolid**, mitad oriental de **Zamora** hasta el Tera, SE de **León**, centro y S de **Palencia** y O de **Burgos**), SO de Valladolid y Zamora, comarcas de Peñaranda y La Armuña (**Salamanca**), desde Madrigal de las Altas Torres hasta la Moraña (**Ávila**). Las tierras de **Segovia** y **Soria** próximas a las montañas, entre 900 y 1200 m de altitud, encierran otros dos sectores de campiñas arcillosas: el corredor Burgo de Osma - Almazán y Riaza.



Leyenda

- Praderas
- Agrícola + veg. natural
- Sistemas agroforestales
- Perennifolias esclerófilas y quejigo
- Laurisilva macaronésica
- Caducifolia y rebollares
- Otras frondosas de plantación
- Pináceas
- Sabinas y enebrales
- Bosque mixto
- Pastizales supraforestales
- Otros pastizales
- Landas y matorrales templado oceánico
- Matorral denso
- Matorral subarabustivo muy poco d
- Matorrales xerófilos
- Matorral boscoso de transición
- Roquedo
- Xeroestepa
- Espacios orófilos altitudinales
- Superficies de agua

Figura 2.29

Resulta casi innecesario resaltar la impronta antrópica en estas áreas que históricamente han operado como graneros, salvo en el caso de alturas superiores a los 900 m, donde los umbrales climáticos y el lavado de los suelos han hecho esas campiñas más aptas para cultivos leñosos o para la explotación forestal. La asociación fitosociológica definida por Braun Blanquet *et al.* (1936)¹³³ para estas zonas con predominio de cultivos es la **Rudero-Sacalinetea**, que incluye varias comunidades de malas hierbas introducidas por el hombre con su acción de pisoteo, incendio, tala y monocultivo de cereal, de la que son características: *Ajuga chamaepitys*, *Anagallis arvensis*, *Capsella bursa-pastoris*, *Datura stramonium*, *Verbena officinalis*, *Cirsium arvense*, *Marrubium vulgare*, *Geranium molle*, *Torilis nodosa*, *Fumaria officinalis*, *Mercurialis annua*, *Stellaria media*, *Poa annua*.

Una vez asumida la alteración impuesta por el hombre en favor de cultivos y pastoreo, solo perviven reductos pobres y dispersos de vegetación natural en tan extensa área; la especie arbórea más común es la encina (*Quercus ilex*, ssp. *rotundifolia*) en asociación con niveles arbustivos de retama o rosál silvestre; la subalianza de especies característica de este paisaje la denomina Rivas Goday *et al.* (1959)¹³⁴ **Quercion rotundifoliae** e incluye: *Arctostaphylos uva-ursi*, *Quercus coccifera*, *Teucrium chamaedrys* ssp. *pinnatifidum*, *Rhamus infectoria*, *Bupleurum rigidum*, *Cystus scoparius*, *Rosa canina* en los suelos básicos; en reductos de sustrato ácido aparecen *Pyrus communis* *pyraster*, *Quercus suber*, *Vilicetoxicum nigrum*, *Juniperus oxycedrus*, *Arbutus unedo*, *Asparagus acutifolius*. El dominio de la encina se debe a su capacidad de adaptación, más que a la idoneidad de suelos y clima de estas campiñas; ante la aridez estival, el largo periodo de heladas o los suelos poco nitrogenados la encina responde ralentizando el crecimiento, fructificando en temporadas alternas o desarrollándose solo como arbusto en paisaje de carrascal; es frecuente encontrar encinas de tamaño arbóreo como ejemplares aislados o en bosquetes muy aclarados, a modo de dehesa.

En hondonadas o vales mas húmedas y a lo largo de los cursos hídricos que seccionan las campiñas se desarrollan paisajes de **ribera y sotos**, que por las específicas condiciones de humedad aglutinan en bosques galería especies como: *Populus alba*, *Fraxinus angustifolia*, *Symphytum tuberosum*, *Salix alba*. Los sotos incorporan especies de matorral ribereño, enriqueciendo las asociaciones galería: *Alnus glutinosa*, *Lysimachia nemorum*, *Solanum dulccamara*, *Carex pendula*, *Senecio jacquinianus*, *Salix atrocinerea*, *Hacer negundo*, *Iris foetidissima*, *Ulmus campestris*, *Farxynus oxycarpa*, *Stachys silvatica*, *Bryonia dioica*, *Brachypodium silvaticum*, *Humulus lupulus* (clase sociológica **Alnetea-Glutinosae** propuesta por Braun Blanquet y Tüxen, 1943)¹³⁵.

133 Braun Blanquet, J., Grajewski, W., Wraber, M., Wallas, J., (1936): Prodrôme des Groupements Végétaux, Fasc. 3. Classes des Ridereto-Secalinetales". Montpellier.

134 Rivas Goday, S., Borja Carbonell, J., Fernández-Galiano, E., Rivas Martínez, S., (1959) Contribución al estudio de la Quercetea *ilicis* hispánica. Anal. Inst. Bot. Cavanilles. T. XVII, vol. 11, Madrid.

135 Braun Blanquet, J., Tuxen, R., (1943) Übersicht der höheren vegetationseinheiten Mitteleuropas. Montpellier.

En las campiñas de Riaza y Burgo de Osma, las áreas cubiertas por encina (alianza *Quercion-Rotundifoliae*, *Cit. supra.*) son más numerosas, continuas y densas, aunque muy alteradas por la acción del hombre, especialmente en los valles; la talla arbustiva sigue siendo lo dominante, pero esta vez a causa de la altura y las temperaturas. Los carrascales segovianos se ven afectados por procesos activos de acaravamiento de laderas, sin que la sujeción impuesta por la vegetación sea suficiente para frenar los procesos de erosión. En sectores poco útiles para la agricultura, la encina se ha sustituido por el disclimax de *Pinus pinaster* y *Pinus pinea* o por enebrales de *Juniperus oxicedra* en suelos oligotrofos.

En las campiñas arcillosas de Soria, la carrasca se integra en el sotobosque de pinos negrales (*Pinus pinaster* subespecie *mesogensis*) junto con la sabina albar (*Juniperus thurifera*) llegando ésta última a ser la dominante paisajística y ascendiendo hasta alturas de paramera. Otras especies en asociación son: *Juniperus communis*, *Juniperus sabina*, *Berberis hispanica*, *Pinus silvestris*, *Pinus clusiana* (alianza *Juniperion thuriferae* propuesta por Rivas Martínez, 1969¹³⁶)

Las **campiñas arenosas** cubren, en su mayoría, los 3000 km² de la margen sur del Duero, entre los ríos Duratón (E) y Trabancos (O). Históricamente se ha conocido como el *Gran Arenal de Castilla* y abarca las tierras de pinares de Segovia, Valladolid, Arévalo y N de Ávila. Las campiñas sorianas del corredor de Burgo de Osma, en la ribera N del Duero, también son del tipo arenoso, estando igualmente colonizadas por densos pinares. La especie natural predominante es el pino negral o resinero (*Pinus pinaster*), que ha ganado espacio por actuaciones de repoblación al pino piñonero (*Pinus pinea*). Por el potencial resinero, maderero y económico del pino negral volvemos a encontrar la vegetación natural fuertemente incidida por la acción humana y, aunque el paisaje pueda parecer natural, la dinámica de los pinares es en muchos casos similar a la de una explotación agraria.

Citamos dentro de este apartado los paisajes y comunidades salinas (*Thero-Salicornietea*) y junqueras (*Juncetalia Maritimae*), propias de humedales como las lagunas de Villafáfila.

2530. GEOBOTÁNICA Y PAISAJE DE LOS PÁRAMOS

Atendiendo al sustrato geológico y edáfico de los páramos volvemos a encontrarnos con páramos de origen calizo y páramos silíceos; y, a pesar de que la altitud y el clima no hacen de ellos una buena tierra agrícola, volvemos a encontrar la huella arrasadora de las actividades de explotación agraria, que impiden llegar a su *clímax* el potencial ecológico de los páramos, en forma de especies con talla de monte alto y asociaciones de bosque.

136 Rivas Martínez, S. (1969). Vegetatio Hismaniae Notula I. Anales Instituto de Biología Aplicada. Barcelona, T. XLVI. Pg. 24.

Los **páramos calizos** son amplias plataformas estructurales, entre 800 y 1000 m, que destacan entre campiñas y valles cortados por la red fluvial. Al S del Duero se hallan los páramos de Cuellar-Peñaflor y al N, los páramos de Torozos, prolongados hacia Palencia y Burgos por los de Cerrato, Lerma y las márgenes del Esgueva.

La especie arbórea mas representativa de los páramos calizos, en cuanto a extensión y tamaño, es el quejigo o roble encina (*Quercus faginea*, *Quercus lusitania*, ssp. *fagina*), especie muy austera en cuanto a requerimientos hídricos (450, 500 mm.) y que soporta bien tanto las bajas temperaturas cuanto el rigor estival. El paisaje de quejigal de páramo solo forma pequeñas masas forestales, con ejemplares de tamaño arbustivo a causa de la secular provisión de leña, el pastoreo, podas, etc. La encina aparece en asociación con el quejigo en los páramos entre los 800-900 m, tendiendo esta última a quedarse como especie específica a medida que aumenta la altitud.

Las alianzas de especies propias de los quejigales, según los autores de referencia, se denominan **Quercion-Faginae** (Braun Blanquet *et al.*, 1956)¹³⁷ y **Quercion-Valentiniae** (Rivas *et al.*, 1959)¹³⁸; especies propias de la primera son: *Quercus lusitania* ssp. *faginea*, *Poterium agrimonoides*, *Limodorum abortivum*, *Bupleurum paniculatum*, *Urigatium virens*, *Stachys lusitania*, *Melica arrecta*, *Carex depressa*, *Arisarum vulgare* ssp. *clusii*, *Antirrhinum linkianum*. Especies propias de la segunda alianza son: *Quercus valentina*, *Saponaria ocymoides*, *Bupleurum rigidum*, *Acer granatensis*, *Genista hispánica*, *Paeonia peregrina*, *Betonica officinalis*, *Aster aragonensi*.

La expulsión del quejigo por la agricultura hacia áreas de topografía marginal le hace entrar en competencia con varias especies de cupresáceas, cuyo crecimiento inicial es rápido y su adaptación al frío y a topografías extremas buena. Las especies son: sabina albar (*Juniperus thurifera*), enebro resinero (*Juniperus oxycedrus*) y enebro común (*Juniperus communis*), además de Retamas (*Retama esphaerocarpa*) y cistáceas (*Cistus laurifolius*).

Los **páramos silíceos** constituyen el escalón más elevado de las planicies de la cuenca, previo a las montañas de reborde, entre 1000 y 1300 m. Desde el punto de vista de la geomorfología, coinciden básicamente con las rañas, y en el aspecto fitosociológico, son el nicho que alberga los paisajes de rebollar (alianza **Quercion pyrenaicae** propuesta por Rivas Goday, (1955)¹³⁹, a partir de la clase sociológica **Querco-Fagetea** propuesta por Braun Blanquet y Vlieger en 1937).

Se pueden localizar tres grandes zonas de páramos silíceos: la primera en la zona centro-oriental de León, la segunda en Palencia, coincidiendo básicamente con la raña

137 Braun Blanquet, da Silva, P., Rozeira, (1956). Resultats de deux excursions geobotaniques a travers le Portugal septentrional moyen. Agronomía Lusitana XVIII, Fascículo 3. Lisboa.

138 Rivas Goday, S., Rigual, P., Rivas Martínez, S., (1959). Contribución al estudio de la Quercetea ilicis hispánica. Anal. Inst. Bot. Cavanilles T. XVII, vol. 11, Madrid.

139 Rivas Goday, S., (1955) Los grados de vegetación de la península ibérica. Anales del Instituto Botánico José de Cavanilles. Madrid

de Guardo, y la tercera en Segovia y Soria, al pie del Sistema Central en las proximidades de Riaza, Ayllón y Castillejo de Robledo. La altitud, severidad del clima y los suelos pobres derivados del sustrato silíceo hacen de los páramos zonas poco aptas para actividades agrícolas, lo que ha ayudado a un asentamiento forestal más sólido.

La especie arbórea dominante en los paisajes no agrícolas de este sector es el rebollo o melojo según localismos (*Quercus pyrenaica*). La sabina albar y la encina ocupan también este nicho ecológico, pero los rebollares, aunque estén muy alterados por la explotación humana, no se han visto deteriorados hasta el punto de no poder competir. En la actualidad, se encuentran topónimos alusivos a rebollares inexistentes, evidenciando la extensión alcanzada en el pasado por estos bosques.

Las especies características asociadas al *Quercus pyrenaica* son: *Lonicera hispánica*, *Geum urbanum*, *Physospermum aquilegifolium*, *Ajuga pyramidalis*, *Genista florida*, *Primula veris*, *Melittis melysophyllum*, *Caryolopha sempervirens*, *Peucedanum stenocarpum*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Calluna vulgaris*, *Brachypodium silvaticum*, *Poa nemoralis*, *Anemone nemorosa*, *Aquilegia vulgaris*, *Carex silvatica*, *Paris quadrifolia*, *Carydalis cava*, *Arum maculatum*, *Leucojum vernum*, *Allium ursinum*, *Viola silvatica*, *Epipactis latifolia*, *Lysimachia nemorum*, *Moehringia trinervia*, *Lathraea squamaria*, *Lonicera xylosteum*

El brezo, *Calluna vulgaris*, es una de las primeras especies colonizadoras del bosque de rebollos aclarado; puede llegar a acidificar los suelos en exceso impidiendo el equilibrio requerido por el rebollo, si este ha sido esquilmado artificialmente, y dar entrada a matorrales heliófilos, ericáceas, cistáceas y matorrales de avanzada degradación como espinosas y labiadas (Ortuño y Ceballos, 1977)¹⁴⁰.

2540. GEOBOTÁNICA Y PAISAJE DE LAS PENILLANURAS DEL OESTE

Bellot Rodríguez (1978)¹⁴¹ señala que el paisaje vegetal dominante en las penillanuras es el propio de la región durilignosa mediterránea, caracterizada por especies dominantes perennifolias, de hoja esclerosada, bien en formaciones arbóreas o en matorrales. Sin embargo, la relativa elevada altitud media de la penillanura (800m) y la variante climática continental dentro del tipo mediterráneo, hacen que buena parte de la vegetación sea marcescente, con asociaciones presididas por rebollos y quejigos. El sustrato paleozoico ha derivado en suelos predominantemente silíceos y ácidos, ligeros y sueltos, con escasa materia orgánica; arenosos sobre granitos o ligeramente arcillosos sobre pizarras. Pero el clima resulta más determinante para la vegetación de esta zona que la pobreza de los suelos.

Así, dependiendo de la altura, pluviometría, orientación y capacidad de retención de humedad, encontraremos:

140 Ortuño, F., Ceballos, A., (1977). Los bosques españoles. Incafo. Madrid.

141 Bellot Rodríguez, F., (1978). El tapiz vegetal de la Península Ibérica. Ed. Blume. Madrid.

1. encinas y **encinares adehesados** hasta los 700 m. (*Quercion rotundifoliae*, *Cit. supra*);
2. deforestación de dehesas en **jara, romeral y pastizal**;
3. las formaciones de **quejigo** (*Quercion faginae*, *Cit. supra*), que ascienden hasta los 850 m, con particularidades según la orientación o cohabitando con la formación del piso inmediatamente inferior y superior;
4. clímax del **fresno y roble tozo** (adehesado) por encima de los 800 m, en zonas húmedas (alianza *Fraxino-Quercion pyrenaicae*), hasta ceder paso a
5. niveles deforestados, en cotas variables, de **landas** compuestas por brezales, retamares, piornales y cervunal, propio de los paisajes de montaña.

Paisajes climáticos de encina y encinares adehesados.

Las dehesas cubren buena parte de Zamora y Salamanca, en las comarcas de Aliste, Carballada, Sanabria, Los Arribes, Sierra de Francia, Valle del Alagón y corredor de Ciudad Rodrigo. La dinámica secular alcanzada entre el potencial edafo-climático, el arbolado, los pastos y las tierras de labor ha dado lugar a un equilibrio de compatibilidades entre explotación de recursos naturales y su conservación. A pesar del equilibrio alcanzado hay que entender que la situación climática corresponde al bosque perennifolio denso de encina, que en muchas zonas ha desaparecido totalmente para ceder su lugar al cultivo de cereales (p. ej. NE de Salamanca y SO de Zamora). La asociación de especies allí donde quedan bosquetes de encina es del tipo *Quercion rotundifoliae*, en su mayoría sobre suelos ácidos, y caracterizada por la presencia de *Phyllirea angustifolia*, *Rhamnus alaternus*, *Cistus salviifolius*, *Juniperus oxycedrus*, *Santolina rosmarinifolia*, *Lavandula pedunculata*, *Cytisus scoparius*, *Cistus ladaniferus*, *Quercus suber*, etc. En el caso de que esta formación se da sobre asomos calizos, el sotobosque incluye especies como *Genista scorpius*, *Avena bromoides*, *Coronilla minima*, *Hippocrepis commutata*. Al sur de las altiplanicies salmantinas, los bosques climáticos perennifolios de encinas han derivado, por acción antrópica en madroñales, creando un paisaje de matorral alto de *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Phyllirea angustifolia*, *Cistus populifolius*, etc. (asociación ***Phyllirecto-Arbutetum***). La sustitución del bosque climático ha instaurado grandes zonas de bosques, rozados en buena parte, en los que se ha aclarado el estrato arbóreo, originándose dehesas o cultivos de cereales. Hay montes adehesados que corresponden a zonas ecotónicas y albergan encina, roble tozo, alcornoque y quejigo. Los gradientes edáficos y de humedad proporcionan distribuciones más ajustadas de estas especies que, en sí mismas encierran umbrales de exigencias bastante elásticos.

Jarales, romerales y pastizales

La encina ocupa, en términos generales, laderas soleadas, secas y pedregosas, suelos poco profundos y se encuentra naturalmente asociada con matorral de jara, retama, tomillo y romero. que alcanzarán mayor o menor desarrollo arbustivo en función de la explotación agraria de dehesa. Estas especies han logrado un equilibrio biológico aceptable para no desgastar los suelos: la encina, por ejemplo, aporta abundante resto vegetal que se transforma en mantillo, lo que supone un aporte de nutrientes y de

materia orgánica esenciales para la construcción de suelo y para el mantenimiento de su equilibrio. Desafortunadamente ese equilibrio no siempre se mantiene. Las especies asociadas a la jara sobre suelos ácidos son: *Rosmarinus officinalis*, *Astragalus manspessulanum*, *Thymus zygis*, *Ruta montana*, *Erica arborea*, *Cladonia alcicornis*, *Dorycnium suffruticosum*, *Helichryson stoechas*, *Halimium umbellatum*, *Lavandula stoechas*, *Pterospartum tridentatum*, *Lavandula pedunculata*, *Calluna vulgaris*, *Erica scoparia*, *Cistus ladaniferus* (especie dominante) *Tuberaria vulgaris*, *Halimium ocyndides*, *Cistus crispus*, *Lithospermum prostratum*, *Genista falcata*, *Genista triacanthos*, *Cistus Populifolius*, etc. (alianza *Cistion ladaniferi*).

Los romerales demuestran también comunidades empobrecidas sobre reductos calcícolas, entre las que son características: *Asperula cynanchia*, *Avena pratensis*, *Carex humilis*, *Centaurea tenuifolia*, *Coronilla minima*, *Erisium grandiflorum*, *Fritillaria pyrenaica*, *Genista hispanica*, etc. (clase *Ononido-Rosmarinetea*).

Buena parte del sotobosque de las dehesas está cubierto por pastizales de gran interés para la ganadería extensiva, con especies anuales como: *Trifolium glomeratum*, *Orchis picta*, *Teesdalia lepidium*, *Trifolium cherleri*, *Filago arvensis*, *Anthyllis lotoides*, *Tolpis barbata*, *Lethyrus sphaericus*, *Coronilla dura*, *Sedum caespitosum*, *Tillaea mucos* (orden de la clase sociológica *Helianthemetalia guttati*, Rivas Goday, 1957¹⁴²).

Formaciones de quejigo

El quejigo es otra de las especies quercíneas que pone de manifiesto la transición entre el bosque perennifolio o semiperinnifolio mediterráneo, de hojas coriáceas que permanecen en el árbol todo el invierno (alcornoque, encina y quejigo), y el bosque caducifolio (especies de roble que pierden sus hojas en otoño). En las penillanuras de Salamanca las zonas de quejigar son muy poco extensas, mientras que hacia Zamora aumenta su presencia. En las alturas y vertientes de transición de las planicies del O Sierra de Torralba, Camaces y Cubeta de Ciudad Rodrigo, el quejigo se asienta sobre todo en nichos ocasionalmente abrigados, calurosos y húmedos. Su incidencia paisajística no es muy definida, puesto que hacia el E cede a favor del encinar y hacia el O a favor del rebollar.

Paisajes de fresno y roble tozo adehesado

El dominio del rebollo coincide con los estratos más elevados de las penillanuras, aunque la encina no desaparece de esta área más fría y húmeda, aprovechando nichos termófilos. Los rebollares se asientan sobre suelos silíceos sueltos. En Salamanca, el rebollo se localiza en el extremo NO, sobre el batolito granítico, y en la zona montana del S; en la mayoría de los casos solo alcanza una talla arbustiva o de *bardal*. El área idónea para esta especie por su adaptación a la continentalidad y su exigencia de un

142 Rivas Goday, S., (1957). Nuevos órdenes y alianzas de *Helianthemetea annua* Br. Bl. Anales Instituto Botánica Cavanilles. T XV. Madrid.

periodo estival corto, se encuentra en León, bajo influencias Atlánticas, recibiendo entre 750-850 mm de precipitación. Desafortunadamente, la superficie propia del rebollar está muy mermada en la actualidad por las quemadas destinadas a obtener mayor superficie de pastos y cultivos.

La alianza propia es la *Quercion occidentale* (Braun Blanquet, da Silva, Rozeira 1956) y la *Fraxino-Quercion pyrenaicae* (Rivas Goday 1961), compuestas la primera por: *Physospermum aquilaeifolium*, *Genista falcata*, *Cirsium grumosum*, *Luzula silvatica*, *Aquilegia dichroa*, *Anemone trifolia*, etc. La segunda por: *Quercus pyrenaica*, *Fraxinus oxycarpa*, *Lonicera hispanica*, *Dictamnus Albus*, *Trifolium medium*, *Astragalus glycyphylus*, *Pulmonaria longifolia*, *Doronicum plantagineum*, *Symphytum tuberosum*, *Melittis melisophyllum*, etc.

En los puntos más húmedos de las dehesas de roble tozo es corriente encontrar **praderas naturales**, con cubierta herbácea de especies vicaces, características de climas húmedos y subhúmedos, susceptibles de aprovechamiento mediante siega: la asociación de especies se constituye con variedades autóctonas de gramíneas, festucas, agropyrum y lolium. Condiciones climáticas muy locales permiten, en algunos casos, la asociación de praderas con arbolado en paisaje de fresneda, entre las que se da una gran variedad de especies: fresno, chopo, rebollo, encina, castaño, olmo, pino silvestre. Algunos prados alcanzan cotas más bajas, gracias a la humedad que les proporciona su posición ribereña, compuestos por trébol subterráneo, grama, lolium, juncos y cardos.

Paisajes deforestados de landas

Entre los paisajes de asociaciones arbustivas destaca la gran superficie ocupada por el matorral sin arbolado (18,3 % en Zamora), como consecuencia de la degradación edáfica causada por sobreexplotación de los pies arbóreos o por la propia dinámica bioclimática, en las penillanuras encontramos brezales y retamares: los brezales se asocian con *Erica aragonensis*, *Agrostis setacea*, *Erica umbellata*, *Pterospartum tridentatum*, *Genista lusitanica*. Los retamares van ligados a papilionáceas como *Pteridium aquilinum*, *Cystus scoparius*, *Teucrium scorodonia*, *Dianthus armeria*, *Orobancha rapum-genistae*, etc.

A mayor grado de humedad, bien por la altura, bien por su ubicación en puntos de mayor influencia Atlántica (Zamora) las landas contabilizan mayor variedad de especies de matorral, entre las que destacamos: *Sarothamnus scoparius*, *Cystus albus*, *Erica arborea*, *Adenocarpus complicatus*, *Halimium occidentale*, *Erica umbellata*, *Erica aragonensis*, *Erica tetrálix*, *Callima vulgaris*, *Genista tridentata*, *Genista lusitánica*, *Cistus hirsutus*, *Lavándula staechas*, *Thymus mastichina*, *Salix cinerea*, *Erica scoparia*, *Erica cinerea*, *Genista tridentata*, *Genista tinctoria*, *Rosmarinus officinalis*. El aprovechamiento de estas áreas de matorral es muy escaso, limitándose al pastoreo de ganado ovino durante la primavera. Los matorrales próximos a núcleos urbanos suelen quemarse rotativamente con el fin de obtener pastos para el ganado.

Aunque el paisaje popularmente más asociado con las penillanuras es el de dehesa, no se pueden infravalorar las grandes extensiones de **pinos**, que en Zamora alcanzan el 41,4 % de la superficie arbolada y en Salamanca el 27% otorgando mayor superficie a las frondosas adehesadas; al igual que en los grandes dominios del pino en la Comunidad, las especies son, según el volumen de presencia: *Pinus pinaster*, *Pinus pinea*, *Pinus Silvestris* y *Pinus laricio*. La actuación colonizadora secundaria del enebro (*Junniperus thurifera*), es escasa. La mayor presencia de coníferas, espontáneas o de repoblación, se da en las comarcas del Aliste y Sáyago (Zamora) y Vitigudino (Salamanca).

Dentro de los paisajes de las penillanuras occidentales hay que considerar la singularidad de la zona de los arribes por los matices biogeográficos originales que introducen las profundas cortadas labradas por la red hidrográfica. El abrigo de laderas, las altas temperaturas propiciadas por la escasa altitud (400-600 m), la continuidad de masas Atlánticas húmedas (Mieza 736 mm.), etc., favorecen el desarrollo de bioconjuntos termófilos ricos en especies mediterráneas. La exclusividad microclimática permite en las vales encajadas de la Sierra de Francia cultivos de vid, olivo, almendros, cítricos y otros frutales. La capacidad de la zona de Los Arribes para sustentar una buena cubierta vegetal queda limitada por la mediocridad y alteración de los suelos; encontramos enebros, alcornoque (*Quercus suber*) en nichos con suelo un poco más desarrollado exentos de heladas, madroños (*Arbutus unedo*), torvisco (*Daphne gnidium*), cornicabra (*Pistacia terebuntus*), así como las especies características mediterráneas arbustivas o arbóreas perennifolias y esclerófilas ya nombradas. Las laderas orientadas hacia el norte, más húmedas, se tapizan de quejigos asociados con encinas y alcornoques (en niveles exentos de heladas) o con rebollo hacia el NO, si las condiciones edáficas y climáticas aumentan en humedad.

2550. GEOBOTÁNICA Y PAISAJE DE LAS MONTAÑAS

Los elementos responsables de la diversidad vegetal de las penillanuras, páramos y campiñas se ordenan en sentido altitudinal en las áreas de montaña. En las montañas, la homogeneidad de las asociaciones de especies se limitará a unos pocos kilómetros cuadrados en el mejor de los casos, por imperativos geomorfológicos, rupturas variadas del sustrato geológico y repercusiones climáticas o de exposición.

La orla montañosa de Castilla y León limita los dominios Atlántico y Mediterráneo, a la par que es zona de coexistencia obligada para ambos tipos de asociaciones; el contraste y asociación de especies es continuo entre exposiciones de solana y umbría; los suelos se engloban en dos grandes unidades características:

- en el W y centro de la muralla Cantábrica, Montes de León, Sistema Central y afloramientos paleozoicos de la Ibérica, suelos silíceos, ácidos y de bajo pH, desarrollados sobre granitos, pizarras, neises y cuarcitas.

- en el sector suroccidental de la Ibérica y E de la Cantábrica, suelos calcáreos, con pH básico o equilibrado.

Los principales escalones de paisajes vegetales de la orla montañosa de Castilla y León son cuatro:

1. Paisaje de bosque esclerófico, de hoja marcescente, dominado por *Quercus Ilex*, *Quercus faginea* o *Quercus lusitanica* según su localización en longitud y en altura. Este nivel está fuertemente incidido por la acción antrópica y, a veces repoblado por pino. La altura máxima que alcanza esta formación, dependiendo de suelos y exposición es de 1400 m.
2. Paisaje de especies de hoja caduca o submarcescentes, dominado por *Quercus pyrenaica* y *Quercus robur*, degradada por el estado de brezales o pinares. Al igual que la anterior está fuertemente incidida por el hombre. La altitud montana máxima alcanzada por este escalón es de 1600 m., dependiendo de suelos y orientación.
3. Escalón correspondiente al dominio del haya (*Fagus sylvatica*), sustituida por pinar en lugares con talas abusivas, ascendiendo hasta los 1700 m., según los suelos, la ausencia de aridez estival y el grado de protección de los vientos.
4. Por encima de los paisajes arbóreos o arbustivos anteriores, se sitúan las cumbres herbáceo arbustivas de landas y cervunales

El nivel **esclerófilo mediterráneo**, formado por encinares, quejigales y sabinares, hasta una altura máxima de 1400 m., se acomoda en solanas, adaptándose a suelos raquíuticos y temperaturas muy bajas. En este escalón del reborde montañoso, los encinares se encuentran sobre todo en el extremo E de la Cantábrica (N de Burgos), la Ibérica y las solanas de la Cordillera Central, con sotobosque de tomillo, gayuba, enebro, cantueso, espliego y estepa. La mayoría de los **encinares** de montaña baja y media han sufrido una fuerte intervención antrópica por talas para carboneo, dando paso a asociaciones y paisajes de degradación: fases progresivas de aclarado, talla arbustiva de carrascal, incursión competitiva de pinares, ericáceas y cistáceas, estado de predominio de matorrales y degradación en pseudoestepa de gramíneas. Los **quejigales** han sufrido igualmente la explotación de carboneo, por lo que en paisajes aclarados abundan los arbustos de arraclán, laurel, agracejos, y matorrales de durillo, rubiana y escobón. En Soria y Segovia ha cedido espacio en favor de pinares que se acompañan de sotobosque de matorrales heliófilos (altabaca, lentisco, brezo, jaguarzo) Además, el quejigo es más exigente que la encina o la sabina en cuanto a umbrales de temperaturas mínimas, permeabilidad o grado de acidez de los suelos. La **sabina**, como hemos visto, fácilmente entra en competición con las especies anteriores; se mantienen sabinares naturales en muy buen estado de conservación en Segovia (Prádena), Soria (Calatañazor) y algunos reductos en el E de León. Las especies contenidas en esta formación se han desglosado al tratar las alianzas *Quercion-Faginae* y *Quercion-Valentiniae*.

El paisaje de robledal, tanto de **rebollos** (*Quercus pyrenaica*) como de **robles** (*Quercus robur*), se halla en todas las montañas castellano-leonesas ocupando el piso montano

entorno a los 1300-1600 m. Botánicos centroeuropeos consideran el **rebollo** como especie resistente a la sequía, mientras que los especialistas mediterráneos lo catalogan como especie exigente en cuanto a la humedad; esta paradoja reafirma su carácter intermedio entre las formaciones xerófilas y las mesófilas. En general, precisa algo más de 600 mm/año, con precipitaciones estivales superiores a 125 mm. y prefiere los suelos silíceos a los cálcicos. Algunos rebollares que mantienen la talla de bosque alto son los de Robledo, Riaza (Segovia), Sierra de la Peña de Francia (Salamanca) y Candeleda (Ávila).

Las áreas climáticas del rebollo pueden verse invadidas por otras especies dando lugar, al menos, a tres tipos de relaciones entre especies. En primer lugar, el área ecológica propia del rebollo coincide parcialmente con otras especies con las que se compenetra naturalmente: quejigo, roble y haya en los confines más altos, frescos y húmedos, castaños, fresnos, alcornoques o encinas sobre suelo silíceo. El segundo tipo de relación entre especies es la que origina la intromisión del pino, normalmente pino silvestre en las cotas altas y pino piñonero en las inferiores, que empieza a evidenciar la decadencia climática del rebollar. Según esté más o menos aclarado el rebollar, el estrato arbustivo lo ocupan el serbal, espino majuelo, pinos silvestres, laricio y piñonero: el estrato subarbustivo lo ocupan retamas (blanca y de tintoreros), zarzas, gayuba y cistáceas (diversas jaras). Algunos ejemplos de rebollares en estado de media colonización por pinares son los de Valsaín en Segovia o los de Almazán en Soria. El tercer estado evolutivo del rebollar es más bien un fenómeno de sustitución de especies más que de convivencia: la aniquilación del rebollo por roturaciones o carboneo permite que se instale en las mismas tierras el pino negral, más agresivo que las otras especies, con un sotobosque de matorrales de avanzada degradación: siemprevivas, aliagas enebro rastrero, *biercol mejorana*, *cantueso*, etc.

El roble, ocupa las mismas áreas que el rebollo pero en estratos superiores (1500 - 1600m.), oscilando entre el rebollar y el dominio del haya. Las especies de esta fagácea presentes en Castilla y León son:

- *Quercus petraea* M., en las sierras occidentales de Zamora, extremo N de Palencia, reductos de la Ibérica en Burgos y Soria, pequeñas manchas en el Sistema Central Segoviano y Sierra de Francia.
- *Quercus robur*, que mantiene manchas más extensas en el O de Zamora, León, Sierra de Ayllón y de Avila

El valor de su madera y los fuegos forestales han esquilado el área climática del rebollar en favor del matorral de brezo, piorno, enebro enano, espino majuelo, tojo, arándano, madroño, boj, *biercol* y aliaga.

Los **hayedos** se asientan hasta una altura máxima de 1600 - 1700 m. No exigen un tipo de suelo único, pero sí unos niveles de humedad constantes sin aridez estival. Los hayedos del reborde montañoso los encontramos desde el NO de Zamora, en la Cordillera Cantábrica en León, Palencia y NE de Burgos, masas importantes en la Ibérica -Sierra de la Demanda-, localizaciones relictas en el Sistema Central -Sierra de

Ayllón, Riofrío, Riaza-. En cuanto a las especies propias de estos hayedos, están constituidas por el orden *Fagetalia Pawl*, que incluyen: *Fagus sylvatica*, *Dryopteris filix-mas*, *Anemone hepatica*, *Mercurialis perennis*, *Polysticum aculeatum*, *Calamagrostis arundinacea*, *Polygonatum multiflorum*, *Asperula odorata*, *Symphytum tuberosum*, *Tilia platiphylla*, *Lamium galeobdolon*, *Sanicula europaea*, *Phytoma spicatum*; como es lógico habrá especies acompañantes el haya según sean los suelos humosos neutros (p. ej: *Athyrium filix-foemina*) o acidófilos (p. ej: *Deschampsia flectuosa*).

Los pinares son los paisajes arbóreos dominantes en las montañas. La variedad de especies permite que conquisten todo tipo de suelos y altitudes llegando hasta los 2000 m, de ahí lo peligroso de su capacidad colonizadora frente a otras frondosas. Además de las grandes áreas de los pinares de las llanuras, en la orla montañosa están presentes en todas ellas, a distintas cotas, según las especies. En los montes de León y Cordillera Cantábrica, han sustituido las cotas del robledal y de algunos hayedos -ej: pinar de la Puebla de Lillo-. En la Ibérica y Guadarrama, el pino resinero está presente hasta los 1200 m. favorecido por la producción de miera, y en detrimento del rebollo. El pino laricio, ocupa crestas calizas, a mayor altitud que el anterior; es muy poco exigente en cuanto a temperaturas, por lo que también se ha usado en repoblaciones masivas a costa del encinar y del sabinar.

Los paisajes vegetales de las cumbres están dominados por landas y cervunales. A las primeras nos hemos referido al describir las penillanuras del O. Los cervunales consisten en comunidades arbustivas o de gramíneas que, a partir de los 1800 - 2000 m., quedan empobrecidas por la altitud, viento, nieve y frío. La asociación de especies de cervunal (*Nardo-Callunetea*), está compuesta por arbustos rastreros como *Danthonia decumbens*, *Luzula campestris*, *Potentilla erecta*, *Carex pilulifera*, *Calluna vulgaris*, *Hieracium pilosella*, *Hypochaeris radicata*, *Veronica officinalis*, *Erica cinerea*. En los suelos ácidos de la Cordillera Cantábrica, Sierra de la Demanda Sierra de la Cabrera y sierra del NO de Zamora y León se alían con: *Galium saxatile*, *Polygala vulgaris*, *Pedicularis silvatica*, *Jasione perennis*, *Juncus scuarrosus*, *Centaurea nigra*. Otros céspedes característicos de estas alturas son: *Plantago alpina*, *Antenaria dioica*, *Trifolium alpinum*, etc.

2560. PROBLEMÁTICA DE GESTIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL. CONTRIBUCIÓN DE LA TELEDETECCIÓN.

En Castilla y León, la problemática derivada de la planificación y gestión integral de los ecosistemas forestales es muy variada. La distribución espacial y la composición fitosociológica de las masas vegetales tratada hasta ahora en este capítulo, es solo un aspecto de los muchos que integran la ecología de paisaje. Hay otros elementos de análisis y gestión biótica en los que la teledetección incorpora una herramienta eficaz, capaz de aportar soluciones de gestión global y aliviar trabajo de campo.

Realizamos a continuación una revisión de algunos problemas acuciantes con los que se encuentra la Junta de Castilla y León en su función gestora de recursos naturales forestales de la Comunidad. Dentro de nuestra concepción de la teledetección como técnica de soporte para la gestión de recursos del medio, haremos una revisión paralela de estudios y aplicaciones en los que se haya usado la teledetección para solventar necesidades similares a las manifestadas por la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Autónomo (1997, capítulos 6-10)¹⁴³, tanto en otros Estados de la Unión Europea como en América. Quizá se demuestre deseable y viable la incorporación de esas experiencias al quehacer de los Organismos gestores de la Comunidad.

Los rápidos avances técnicos que llevaron a entender el comportamiento espectral de las superficies vegetales observadas desde satélites, multiplicó el interés de su aplicación hacia multitud de temas bioambientales, desde la gestión y seguimiento global de los espacios naturales (Hofer, 1994¹⁴⁴, Eastman y Toledano, 1996¹⁴⁵), hasta temáticas específicas como: tipificación de masas (Beaubien, 1979)¹⁴⁶, respuesta espectral de asociaciones fitosociológicas (García-Haro *et al.*, 1996)¹⁴⁷, efectos de plagas en cambios de cubiertas arbustivas (Price *et al.*, 1992)¹⁴⁸, respuesta de los paisajes a presiones naturales y culturales (Milton y Mouat, 1989)¹⁴⁹ o índices de riesgo de grandes fuegos (Chuvieco *et al.*, 1997)¹⁵⁰.

El control de recursos naturales no es tarea fácil por la cantidad de elementos dinámicos y variables que se entrecruzan bajo un mismo prisma. La teledetección es un instrumento de análisis, en sí complejo y que, por lo tanto, no simplifica la realidad pero sí tiene la potencia suficiente para gestionar esa complejidad y abundancia de datos. Ciertamente, la teledetección en la aplicación que ahora nos ocupa, ayuda al analista a elaborar la síntesis de un sin fin de elementos intermedios de cálculo de los que no debe

143 Junta de Castilla y León. (1997). Libro verde del Medio Ambiente en Castilla y León. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Salamanca.

144 Hoffer, R. M., (1994). Challenges in developing and applying remote sensing to ecosystem Management. Remote Sensing and GIS in ecosystem management (V.A. Sample, Ed.), Island Press, Washington D.C., pp. 25-40.

145 Eastman, J.R., Toledano, J., (1996). Forest monitoring in Malawi. Earth Observation Monitoring. September 1996., pp. 28-31.

146 Beaubien, J., (1979). Forest type mapping from Landsat digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 45, nº 8, pp 1135-1144

147 García-Haro, J., Gilabert Navarro, M.A., Younis, M.T., Meliá Miralles, J., (1997). Análisis de composición espectral basado en un modelo lineal de reflectividad para el estudio de la vegetación en una zona semi-árida. En: Teledetección Usos y Aplicaciones. (Casanova, J.L. y Sanz Justo, J., Ed). Universidad de Valladolid. Valladolid.

148 Price, K., Pyke, D., Mendes, L.I. (1992). Shrub dieback in a semiarid ecosystem: the integration of remote sensing and GIS for detecting vegetation change. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 58, no. 4, April 1992., pp 455-463.

149 Milton, N.M., Mouat, D.A. (1989). Remote sensing of vegetation responses to natural and cultural environmental conditions. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 55, no. 8, August 1989, pp 1167-1173.

150 Chuvieco, E., Salas, F.J., Vega, C. (1997). Remote sensing and GIS for long term fire risk mapping. A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Megafires Project ENV-CT96-0256. E. Chuvieco, Ed. Universidad de Alcalá de Henares. Madrid.

de perder control. El nivel de detalle de la problemática a gestionar obligará elegir cuidadosamente el satélite y los datos a analizar o a optar por otras técnicas de cuantificación ecológica.

Una de las primeras necesidades de gestión de espacios naturales declarada por la Junta de Castilla y León (1997, *Cit. supra*. pp. 90) es la falta de inventarios completos y actualizables de los espacios naturales forestales, amparados por algún tipo de protección legal o no. Las imágenes de alta resolución pueden aportar y actualizar los datos requeridos en los inventarios forestales más comunes: diferenciación de especies dominantes, superficie ocupada, densidad de individuos, variedad de edad entre ejemplares (Heller y Ulliman, 1983)¹⁵¹. Mas recientemente, Turner *et al.* (1994)¹⁵² o Delbaere y Gulink (1995)¹⁵³ han justificado la bondad de las observaciones remotas por ser medidas homogéneas del terreno que permiten el seguimiento multitemporal de fenómenos que afectan un área de modo violento o paulatino, como un fuego masivo o cambios poco perceptibles entre años correlativos, pero notorios al comparar dos momentos distanciados en el tiempo, que requieren nuevas cartografías.

Los responsables de la Junta apuntan varias áreas de protección o control de los bosques en los que sería factible la utilización de la teledetección o GIS: control de plagas, incendios, sobreexplotación de volúmenes madereros, abandono y acumulación de combustible arbustivo, control de sequía, previsión de áreas destinadas al ocio público, etc. Lógicamente unos aspectos se relacionan con otros de modo positivo o negativo.

La salud de los montes de Castilla y León ha quedado afectada los años 80 por las sequías, debilitando tanto a los individuos de talla arbórea como a las fitoasociaciones por la subducción de niveles freáticos. Además, la biología de especies parasitarias defoliadoras o perforadoras ha encontrado unas condiciones de temperatura óptimas para una mayor reproducción y pervivencia. Los pinos se han visto invadidos, además de por la conocida procesionaria, por otras plagas: *Acantholida nemoralis*, *Lymantria monacha* y *Haematoloma dorsatum* (defoliadores) y *Ips sexdentatus* (perforador). Las encinas y otras quercíneas se han visto afectadas por la Seca de los *Quercus*, que se traduce en decoloración, defoliación y muerte de muchos ejemplares, especialmente en el SO; otros defoliadores convertidos en plaga son: *Lymantria dispar*, *Malacosola Neustria*, *Euproctis chrysorrhoea* y *Tortrix viridana*. Las choperas y bosques galería de riberas también han quedado infectados por perforadores: *Paranthrene tabaniformis*,

151 Heller, R.C., Ulliman, J.J., (1983) Forest Resource assessment. En: Colwell, R.N., Manual of Remote Sensing. 2nd edition. American Society of Photogrammetry. T2. Cap. 34. Falls Church, Virginia.

152 Turner M.G., Hargrove, W.W., Gerdner, R.H., Romme, W.H. (1994). Effects of fire on landscape heterogeneity in Yellowstone National Park, Wyoming. *Journal of Vegetation Science*, vol. 5, pp. 731-742.

153 Delbaere, B., Gulink, H., (1995). A review of landscape ecological research with specific interest to landscape ecological mapping. Remote Sensing in landscape ecological mapping (B. Delbaere, H. Gulink, E.). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 3-28

especialmente peligroso, *Melanophila picta*, *Gypsonoma aceriana*, *Saperda populnea*; y por hongos: *Marsonina brunnea*.

La ayuda que aporta la teledetección para control de humedad o plagas en la vegetación es bien conocida, acumulando años de experimentación y verificación de métodos, tanto con imágenes de alta resolución espacial como temporal. Además de los estudios citados en el capítulo dedicado a la red hidrográfica relativos al control de humedad en suelo a través de la respuesta de la vegetación, podemos apuntar los trabajos de Gates (1991)¹⁵⁴ sobre el contenido de agua en especies arbóreas y su respuesta espectral, Cibula *et al.* (1992)¹⁵⁵ relativo al comportamiento de los tejidos en situación de sequía. En cuanto al control de plagas, resaltamos los estudios de Rock *et al.*, (1986)¹⁵⁶ y Vogelmann *et al.*, (1986)¹⁵⁷. Compañías químicas se han mostrado especialmente interesadas por esta aplicación de la teledetección como medio de control de producción y distribución de productos capaces de remediar las plagas. Su aplicación es más efectiva y rentable sobre agricultura extensiva que sobre zonas forestales. Pueden consultarse abundantes trabajos específicos sobre control de plagas vía teledetección en: <http://www.agest.ecof.org.br>. <http://www.ipe.nma.embrapa.br>. El último trabajo del que tenemos noticia en esta aplicación es el de Sá, *et al.*, (1999)¹⁵⁸, en el momento de cerrar esta memoria.

La problemática que debe acometer la Junta en relación con los incendios forestales no es baladí. La Comunidad Autónoma cuenta con más de 2 millones de hectáreas de arbolado; de estas, 1.650.000 Ha. corresponden a montes de utilidad pública, lo que en términos comparativos significa que Castilla y León tiene tres veces más superficie arbolada a vigilar contra incendios que cualquier otra Autonomía, ya que ninguna sobrepasa las 600.000 Ha. En cuanto al número de incendios y la superficie arrasada, apuntamos dos datos comparativos que ilustran la disminución de ritmos: 1989 fue un año especialmente catastrófico, con 3.350 incendios que acabaron con 19.927 Has; 1994 acabó con 4.630 Has. en 2.400 episodios, disminuyendo considerablemente la dimensión media de cada incendio. El área mas castigada es el NO, especialmente León, con grave deterioro de los bosques de caducifolias, más difíciles de regenerar que los pinares. La incidencia de fuegos en los pinares de Ávila, Segovia, Soria y Burgos es mucho menor. No es nuestra misión determinar las causas y repercusiones de esos

154 Gates, D.M. (1991). Water relations of forest trees. IEEE. Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol 29. No. 6, pp. 836-842.

155 Cibula, W.G., Zetka, E.F., Rickman, D.L. (1992) Response of thematic mapper bands to plant water stress. International Journal of Remote Sensing, 13: 1869-1880.

156 Rock B.N., Vogelmann J.E., Williams, D.L., Vogelmann, A.F., Hoshizaki, T. (1986) Remote detection of forest damage. Bioscience, 36: 439-445

157 Vogelmann J.E., Rock B.N., (1988). Assessing forest decline in high elevation coniferous forests in Vermont and New Hampshire using Thematic Mapper data. Remote Sensing of Environment, 24: 227-246.

158 Sa, I., Antonio, R., Almoróx, J., (1999). Aplicación de sensores remotos en la detección y evaluación de plagas y enfermedades en la vegetación. En: Teledetección, avances y aplicaciones. Asociación Española de Teledetección. Ed. Castaño, S., y Quintilla, A. Diputación de Albacete. Albacete 1999.

incendios. Entre las perspectivas de futuro de la Junta de Castilla y León para paliar el efecto de los fuegos forestales se dice en el Libro Verde de Medio Ambiente (1997, *Cit. supra*. pp. 146):

*“Podría resultar de gran utilidad establecer una **base de datos unificada** a la que puedan acceder todos los servicios, así como la **georreferencia** de dichos datos en un sistema informático geográfico integral que permita **planificar** y **gestionar** de un modo integral todo el patrimonio forestal.*

*También existen en el mercado diversos **programas** sobre **comportamiento** y **simulación** de fuego, que **no** han tenido todavía una clara **aceptación** sin duda alguna por que al no disponer, en general, de este SIGI los hacen inoperativos en la práctica. Es evidente que urge formar a nivel autonómico el **SIGI** que permitirá:*

- 1. Diseñar una política de prevención adecuada: la representación gráfica del terreno con sus modelos de combustible, vías de acceso, estado de cortafuegos, medios de extinción, se hace cada vez más apremiante una preventiva eficaz.*
- 2. Contar con un sistema de emergencia informático de modo que la respuesta a un conato sea automática. El incendio forestal es por definición dinámicoEl aviso a las primeras cuadrillas, helicópteros y demás medidas debe de ser inmediato.*
- 3. Una planificación de grandes incendios que incluya actuaciones de protección civil de emergencia.”*

Citamos este párrafo porque expone de modo sucinto las necesidades operativas de los responsables del patrimonio forestal y de seguridad civil en Castilla y León. Durante los años que ha durado nuestro estudio (1995-1998), amparado por una beca FPI del Ministerio de Educación y Cultura, hemos ganado un amplio conocimiento del estado del arte de la teledetección aplicada a la prevención, detección y evaluación de incendios forestales, trabajando en estrecha unión con equipos científicos multidisciplinares¹⁵⁹, estamentos de Administraciones Públicas¹⁶⁰ y empresas de teledetección y telecomunicaciones¹⁶¹ de los Proyectos de I&D *MEGAFiReS* y *CONTROL FIRE SAT*. Ambos programas de investigación han depurado metodologías capaces de prestar los servicios que en el párrafo anterior reclama la Junta.

MEGAFiReS establece un sistema de trabajo para prevención, detección y evaluación de fuegos. La **prevención** se entiende a corto y a largo plazo, e incluye una base de datos espaciales georreferenciados, protocolos de cuantificación de humedad en las plantas, gestión de variables climáticas y análisis de imágenes de alta resolución temporal y

159 Dpto. de Geografía, Universidad de Alcalá de Henares. Cemagref – Engref (FR). Universidad de Thessaloniki (GR). Instituto Superior de Agronomía (PO). Universidad de Turín (IT). Ecole des Mines de Paris (FR)

160 Centro Común de Investigación de la Unión Europea en Ispra CEO-JRC. Agencia de medio Ambiente, Junta de Andalucía (ES). Centro Nacional de Informação Geografica (PO). Regional Authority of Attica (GR). Diputación General de Aragón (ES). Direction Departementale des Services D’incendie et de Secours (FR)

161 Ktimatologio (GR) Infocarto (ES).

espacial para establecer niveles de estrés de la vegetación y de riesgo de incendio. La **detección** se ha centrado en la búsqueda de un algoritmo que proporcione las coordenadas de los focos de incendio sin interferencia de otras superficies recalentadas o de la reflectividad de las nubes, en un corto espacio de tiempo después de la pasada del satélite; la frecuencia de pasadas de los satélites (NOAA) permite en muchas ocasiones el seguimiento de evolución del frente. La **evaluación** gestiona información georreferenciada de carácter espectral (imágenes), cartográfica, estadística, biológica, fitosociológica, de usos de suelo, etc., que permite una rápida evaluación de los daños y actuaciones de urgencia. Se puede consultar la metodología de trabajo de cada tema y grupo, recopilada por E. Chuvieco (1997)¹⁶², junto con una amplia revisión bibliográfica, avalada por la Comisión Europea.

CONTROL FIRE SAT está todavía experimentando la transferencia a los gestores públicos de la información extraída de los satélites en forma de productos de uso directo para prevención o intervención directa en un incendio. Los productos son:

1. Cartografías de riesgo de incendios actualizadas a diario.
2. Listados de coordenadas en fuego y cartografía de avance del frente.
3. Evolución de los límites de grandes fuegos en cada pasada de satélite.
4. Sistema de transmisión por red en tiempo cercano al real.

La tabla que presentamos a continuación resume los proyectos de I&D financiados por la Unión Europea dentro del IV Programa Marco, relativos a la gestión de incendios forestales que de algún modo conlleven técnicas de observación remota. Como se aprecia, los contratos son numerosos. Muchos de los productos obtenidos de estos contratos son ya operativos en la UE, por lo que no compartimos plenamente la crítica de la Junta en cuanto a la falta de operatividad de los sistemas. Ciertamente, en el caso de Castilla y León, las dimensiones del área a cubrir y la cantidad de puntos de control que deben mantenerse en el sistema hacen muy voluminoso y complejo el sistema de información y control de fuegos.

Nº de Contrato	Título o Acrónimo del Proyecto de I&D
EV5V-0015	Simulation of Forest Fire
EV5V-0019	Minerve I
EV5V-0570	Minervell
EV5V-0477	Mefisto
EV5V-0017	Post-Fire soil & vegetation dynamics in natural and afforested areas in southern Europe. The role of fire intensity.
EV5V-0473	Wildfire prevention through prescribed burning: prediction of effects on tree
EV5V-0475	Reclamation of Mediterranean ecosystems affected by wildfire
EV5V-0482	Prometheus
EV5V-0481	Integrated assessment of environmental degradation connected with forest fire in European areas.

¹⁶² VV.AA (1997) A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires. Megafires Project ENV-CT96-0256. E. Chuvieco, Ed. Universidad de Alcalá de Henares. Madrid

EV5V-0476	F.I.R.E.S.
EV5V-0521	Acknowledge-based decision support system for fire risk assessment in the Mediterranean ecosystem
EV5V-0525	A new approach for forest fire risk assessment. RISK sensor
ENV4-0335	FOMFIS
ENV4-0299	EFAISTOS
ENV4-0256	MEGAFiReS
ENV4-0260	AFFIRM
Environment	FUEGO
Environment	FIRE
Sprit	PIROMACOS
ENV4-CT96-0331	MUST
DG VI. OJ S53; 15.3.97; 97/S 53-30357/FR	Services in connection with the protection of forest against fire. Regulation (EEC) 2158/92 (OJ L217, 31.07.1992), Regulation (EC) 308/97 (OJ L51, 21.02.1997)

Fuentes: <http://www.ceo.org> <http://www.cordis.lu>

Otros aspectos que en Castilla y León necesitarían beneficiarse de la capacidad de gestión que encierra la teledetección, son:

1. El seguimiento de los 35 espacios naturales bajo protección legal, que suman 1.122.228 Has. y necesitarían clasificaciones multitemporales comparativas de la evolución y estado de los usos de suelo. Son interesantes los estudios de clasificación de imágenes de satélite centrados en la biodiversidad de Deblonde y Cihlar (1993)¹⁶³ y los criterios de clasificación de usos de suelo con la ayuda de imágenes de Justice y Townshend (1981)¹⁶⁴. En este aspecto hay que tener en cuenta la normativa y trabajo desarrollado por la Unión Europea dentro del programa Corine Biotopos (1985)¹⁶⁵ y Red Natura 2000.
2. Control de erosión de suelos, especialmente en áreas deforestadas; este aspecto se trata en la sección de suelos.
3. Seguimiento de áreas repobladas para controlar la evolución de desarrollo, justificar inversiones y solicitud de ayudas Comunitarias dedicadas a la reforestación dentro de las pedidas adoptadas en el marco de la política agrícola comunitaria para abandono de tierras agrícolas y recuperación de terrenos forestales. Vía teledetección se puede controlar la salud de la repoblación, la densidad y volumen maderero alcanzado para proceder a planes de talas y determinar la cantidad de combustible acumulado que aconseje un tipo u otro de acciones silvícolas.

163 Deblonde, G., Cihlar, J., (1993). A multiyear analysis of the relationship between surface environmental variables and NDVI over the Canadian landmass. *Remote Sensing Reviews*, Vol. 7, pp. 151-177.

164 Justice, C.O., Townshend J.R., (1981) The use of Landsat data for land cover inventories in Mediterranean lands. *Terrain Analysis and Remote Sensing* (J.R. Townshend, Ed.), George Allen & Unwin, London, pp. 135-153.

165 European Commission (1985) Council decision of 27 June 1985 on the adoption of the Commission Work Programme concerning an experimental project for gathering co-ordinating and ensuring the consistency of information on the state of the environment and natural resource in the community (95/338/EEC). *Official Journal of the European Communities* L 176/14, 6 July 1985, p.4.

ABRIR CAPÍTULO 2. 2600.

